



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

SEINÄJÄYKISTEISEN KERROSTALON STABI- LITEETTI- LASKELMAT

Miika Riihimäki



Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Talorakennustekniikka

RIIHIMÄKI, MIIKA:

Seinäjäykisteisen kerrostalon stabiliteetilaskelmat

Opinnäytetyö 67 sivua, joista liitteitä 19 sivua
Toukokuu 2018

Yksittäisten rakenneosien mitoittamisen lisäksi rakennesuunnittelijan tehtäviin kuuluu varmistaa koko rakennuksen vakavuus. Tämän työn tavoitteena oli tuottaa tilaajayrityksen käyttöön Excel-laskentapohjat, jotka tehostaisivat betonirakenteisen kerrostalon stabiliteettitarkastelua. Ilman taulukkolaskentaa jäykistykseen laskenta on työlästä, mikäli rakennuksen jäykistysjärjestelmä ei ole symmetrinen. Tietoa etsittiin lukemalla aihetta koskevaa kirjallisuutta sekä keskustelemalla tilaajayrityksen henkilöstön kanssa.

Kirjallisessa osiossa esitellään laskennan vaiheet. Osion tavoitteena on selventää lukijalle jäykistämisen teoriaa siten, että työn luettua suunnittelijalla on ymmärrys ja valmius tarkastella asuinkerrostalon jäykistävän rungon toimintaa.

Rakennuksen jäykistysjärjestelmän varsinainen suunnittelu aloitetaan rakennukseen kohdistuvien kuormien laskemisella. Huomioitavia kuormia pysyvien kuormien lisäksi ovat tuuli-, lumi-, maanpaine- sekä hyötykuormat. Myös rakenteiden vinous aiheuttaa lisävääkavoimia rakennusrungolle. Kuormien määrittämisen jälkeen on selvítettävä kuormien jakautuminen jäykistäville rakenneosille. Kuormat jakautuvat pystyrakenneosille niiden jäykkyyksien suhteessa. Kun tiedetään kuormien jakauma rakenneosille, jokainen rakenneosa on mitoitettava siten, että minkään rakenneosan kapasiteettiä ei ylitetä.

Usein alimpiin kerroksiin tahdotaan avaraa liiketilaa, joissa jäykistäviä seiniä on harvemmassa, kuin esimerkiksi asuinkerroksissa. Tästä syystä jäykistysjärjestelmän suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota etenkin alimpiin kerroksiin. Tyypillisesti asuinkerroksissa jäykistykseen suunnittelu ei tuota ongelmia.

Työn aikana tuotetut Excel-laskentapohjat löytyvät liitteistä. Laskentapohjissa on tarkastettu kuvitteellisen kohteen stabiliteetti työssä käsiteltävin osin. Laskentapohjia voidaan jatkossa kehittää ottamalla huomioon mastotornin jäykkyys sekä jäykistävässä seinässä sijaitsevat aukot.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme of Construction Engineering
Building Construction

RIIHIMÄKI, MIIKA:
Stability Calculations of High-Rise Buildings

Bachelor's thesis 67 pages, appendices 19 pages
May 2018

Checking the stability of a high-rise building is part of the structural designer's work. The purpose of this thesis was to create calculations for checking the stability of high-rise buildings using Microsoft Excel. It is hard and arduous to check the stability of the high-rise building without spreadsheeting, especially if the stiffening frame is not symmetrical. If the stiffening frame is not symmetrical, the intermediate floor of the building will rotate around its turning point. It creates additional loads for the structures.

In the written section of the thesis a discussion is provided on what structural designers have to observe when checking the stability of the high-rise building. First of all, in structural calculations, the loads imposed on the structure must be found out. For example wind, snow and service loads and earth pressure affect the structures. When checking the stability of the high-rise building, attention should be paid to the lowest and highest floors especially if there are not many bracing walls.

At the end of the thesis there are attachments that include printouts of the spreadsheets which are made during this study. It is possible to develop spreadsheets further. Now the program observes only the rigidity of rectangular walls and not for instance the rigidity of the elevator shaft. The thesis also deals with the theory of calculating the shear strength of vertical and horizontal joints.

Key words: stability, fulcrum, constraint actions

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ELEMENTTIRAKENTEISEN RAKENNUKSEN STABILITEETTI	7
2.1	Jäykistysjärjestelmän vaatimukset	7
2.2	Jäykistysmenetelmät	7
2.2.1	Mastojäykistys	8
2.2.2	Kehäjäykistys	8
2.2.3	Levyjäykistys	9
2.2.4	Ristikkojäykistys	10
2.3	Jäykistysjärjestelmän toimintaperiaate	10
3	JÄYKISTYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	13
3.1	Suunnitteluprosessi	13
3.2	Suunnittelua ohjaavat normit	15
4	KUORMITUKSET	16
4.1	Tuulikuorma.....	16
4.2	Lumikuorma.....	21
4.3	Maanpaine kuormat	23
4.4	Pystykuormat	24
4.4.1	Hyötykuormat	24
4.5	Kuormitusyhdistelyt.....	26
5	LISÄVAAKAVOIMAT.....	30
6	KUORMIEN JAKAUTUMINEN JÄYKISTÄVILLE SEINILLE.....	32
6.1	Symmetrinen jäykistysjärjestelmä	33
6.2	Epäsymmetrinen jäykistysjärjestelmä.....	34
7	MASTOSEINÄN RASITUKSET JA MITOITUS	38
7.1	Saumet	40
7.1.1	Pystysaumet	40
7.1.2	Vaakasaumat	42
8	POHDINTA.....	44
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	49
	Liite 1. Esimerkkikohteen lähtötiedot	49
	Liite 2. Lisävaakavoimien määrittäminen	50
	Liite 3. Tuulikuorman määrittäminen pintapaineiden avulla	52
	Liite 4. Kuormitusyhdistely	56
	Liite 5. Kuormien jako jäykistäville seinille	57
	Liite 6. Tarkasteltavan seinän pystykuormat.....	61

Liite 7. Tarkasteltavan mastoseinän kestävyys	62
---	----

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii tamperelainen konsultti- ja suunnittelutoimisto TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy. Työn pääasiallisena tavoitteena on luoda tilaajayritykselle Excel-laskentapohjat sekä vakiintunut käytäntö betonielementtirakenteisen asuinkerrostalon stabiliteetin tarkastamiseen. Kirjallisen osion tavoitteena on selvittää teoriaa laskennan takana ja antaa työn lukijalle käsitys elementtirakenteisen asuinkerrostalon jäykistelaskuista. Aihe valikoitui yrityksessä ilmenneiden tarpeiden kautta. Aiheeseen tutustuttiin alan kirjallisuutta lukemalla sekä keskustelemalla kokeneempien rakennesuunnittelijoiden kanssa.

Työn lopusta liitteistä löytyy työn aikana tehdyt Excel-laskentapohjien tulosteet. Liitteissä esitetyt esimerkkilaskut tehdään vain yhdessä murtorajatilan kuormitusyhdistelmässä. Liitteessä 1 on esimerkkikohteen lähtötiedot. Liite 2 sisältää asuinkerrostalon yhden kerroksen pystysuuntaisten kuormien sekä pystysuuntaisista kuormista aiheutuvien lisävaakavoimien laskemisen. Liitteessä 3 on määritetty tuulikuorma esimerkkikohteelle. Liite 4 sisältää kuormitusyhdistelyn yhdessä, valitussa, kuormitusyhdistelmässä. Liitteessä 5 määritetään esimerkkikohteen kuormien jakautuminen jäykistävien seinien kesken. Kuormien jakautumisen selvittämisen jälkeen tarkastellaan tarkemmin yksittäistä jäykistävää seinää. Liitteessä 6 on laskettu esimerkkirakennuksen valitun ulokemaston pystysuuntaiset kuormat (liite 6 ei ole tämän työn aikana tuotettu), ja liitteessä 7 tarkistetaan kyseisen ulokemaston elementtien välisten liitosten kestävyyydet. Kohde on kuvitteellinen, eikä jäykistävien seinien sijoittelu ole optimaalinen kiertymisen kannalta. Lisäksi saumojen tarkastelu tehdään seinälle, joka saa vähän pystysuuntaista kuormaa, mutta joka ottaa suhteessa paljon vaakasuuntaista voimaa. Edellä mainitut siksi, jotta nähdään, että jäykistäminen on todellakin huomioitava myös asuinkerrostaloissa, eikä se tule itseksensä, mikäli asiaa ei pohdita. Mikäli rakenneosat sijoitetaan runkoon järkevästi eikä jäykistäviin seiniin tule esimerkiksi vetojännityksiä, säästetään myös kustannuksissa.

Työssä ei käsitellä onnettomuustilanteiden tai työnaikaisen stabiliteetin laskentaa. Lisäksi elementtirakenteisen välipohjatasen, kuten ontelolaataston rengasraudoituksen, mitoitus on rajattu työstä pois. Opinnäytetyö on tehty ajatellen alle kahdeksan kerroksista asuinkerrostaloa, ja tästä ylöspäin tämän ohjeen käyttö ja soveltaminen jää käyttäjän harkinnan varaan. Toisen kertaluvun vaikutusta ei oteta huomioon.

2 ELEMENTTIRAKENTEISEN RAKENNUKSEN STABILITEETTI

Rakennesuunnittelijan tehtäviin kuuluu rakennuksen työ-, käyttö-, sekä onnettomuustilanteen aikaisen stabiliteetin tarkastelu. Rakennuksen jäykistys voidaan toteuttaa monella eri keinoilla. Eri jäykistyskeinoja käydään tarkemmin läpi luvussa 2.2. Vaakasuuntaiset kuormat pyrkivät kaatamaan rakennusta ja pystysuorilla, jäykistävillä rakenteilla on oltava tarpeeksi suuri jäykkyys, jotta rakennus säilyttää stabiliteettinsa. On edullista käyttää jäykistävinä rakenteina kantavia rakenteita, sillä pystysuuntaiset kuormat vakavoittavat rakennetta.

2.1 Jäykistysjärjestelmän vaatimukset

Rakennuksen jäykistävän rungon on kyettävä kantamaan sille tulevat kuormat, jäykistää rakennusrunko, siirtää kuormat perustuksille ja maaperään, rajoittaa rakennuksen taipumia sekä varmistaa riittävä jäykistysvaikutus niin käyttö-, onnettomuus-, kuin asennustilanteessakin. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995,5).

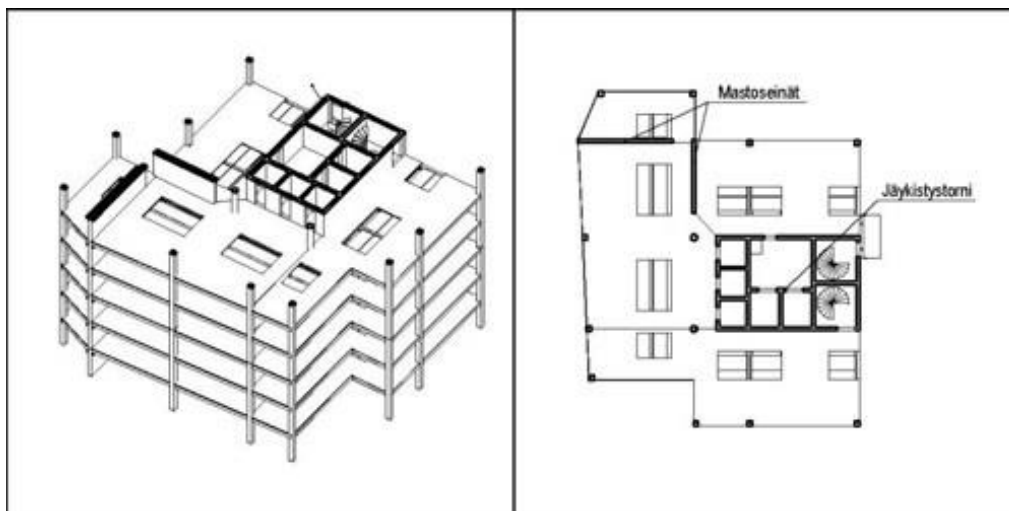
Rakennuksen jäykistävät osat suunnitellaan ja mitoitetaan siten, että niin yksittäiset osat, kuin osista muodostuva kokonaisuus kykenevät täyttämään sille asetetut vaatimukset (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995,5). Voidaankin ajatella, että jäykistysjärjestelmä on yhtä vahva, kuin järjestelmän heikoin osa.

2.2 Jäykistysmenetelmät

Kuten luvun kaksi alussa todettiin, betonielementtirakenteisen rakennuksen stabiliteetti voidaan toteuttaa monella eri keinoilla. Jäykistysjärjestelmän valintaan vaikuttavat esimerkiksi rakennuksen rakennejärjestelmä, kustannustehokkuus, mittasuhteet, vaatimukset rakennuksen muuntojoustavuudelle sekä rakennuksen käyttötarkoitus (Jäykistysjärjestelmät 2010). Usein rakennuksen jäykistysjärjestelmässä käytetään samanaikaisesti useampaakin jäykistystapaa. Hyvin tyypillisesti asuinrakennus jäykistetään jäykistystorien sekä mastoseiniä avulla.

2.2.1 Mastojäykistys

Mastojäykistyksessä jäykistävät pystyrakenteet toimivat ulokepalkkeina perustustasosta. Mastojäykistys voidaan kerrostalokohteissa toteuttaa mastoseinillä tai jäykistystorneilla, kuten hissikuiluilla (kuva 1). Mastot ovat alapäästään jäykästi kiinnitetty perustuksiin ja tasojen vaakarakenteet siirtävät vaakakuormista aiheutuvat rasitukset jäykistäville pystyrakenneosille (Jäykistysjärjestelmät 2010).

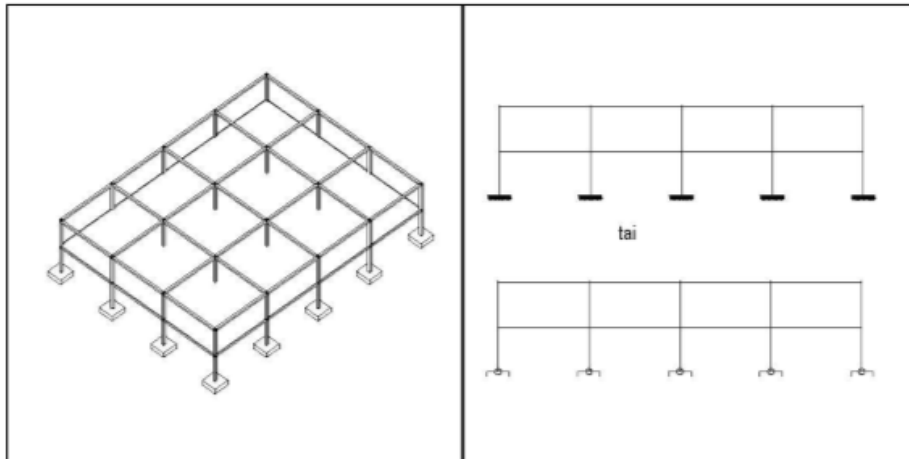


KUVA 1. Mastojäykistysperiaate. Kuvassa rakennus jäykistetään mastoseinien ja jäykistystornin avulla. (Jäykistysjärjestelmät 2010).

Mastoseinät ja -tornit muodostuvat useasta elementistä, ja jotta useasta elementistä muodostuva seinä tai torni toimii yhtenä kappaleena, täytyy elementtien saumat mitoittaa niille kohdistuville rasituksille. Saumoille syntyy yleensä leikkausvoimaa sekä aksiaalista jännitystä. Mastojäykistys, sekä varsinkin nimenomaan mastotornijäykistys soveltuu hyvin korkeisiin rakennuksiin (Jäykistysjärjestelmät 2010).

2.2.2 Kehäjäykistys

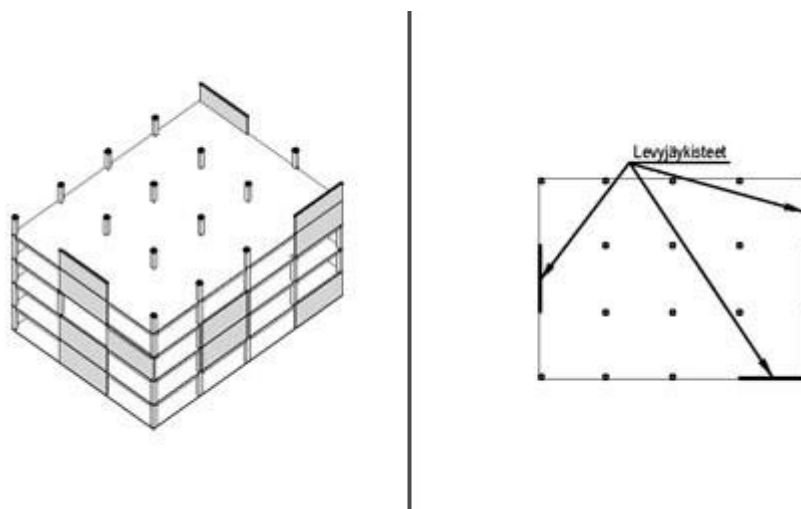
Kehäjäykistyksessä rungon jäykistävänä rakenneosana toimivat pilareista ja palkeista muodostuva **jäykkänurkkainen kehä** (kuva 2). Elementtirakentamiseen jäykät nurkka-liitokset soveltuvat hieman kehnollaisesti. Kehiä vastaan kohtisuorassa suunnassa rakennus jäykistetään yleensä erikseen levy- tai vinotukijäykisteillä (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 20).



KUVA 2. Kehäjäykistysperiaate (Jäykistysjärjestelmät 2010)

2.2.3 Levyjäykistys

Levyjäykistyksessä pystyrungon väliin sijoitetut levymäiset rakenteet jäykistävät rakennuksen. Levyseinien sijoitus voi olla halutunlainen, mutta mikäli levyrakenteet eivät kerrostalossa sijaitse kaikissa kerroksissa päällekkäin, joudutaan jäykisteiden siirtämiä vaakasuuntaisia leikkausvoimia siirtämään tasossa. Leikkausvoimien tasossa siirtäminen ajaa usein hankaliin liitosratkaisuihin. (Jäykistysjärjestelmät 2010). Levyrakenteita täytyy sijoittaa rakennuksessa molemmissa suunnissa (kuva 3). Levyjäykisteiden toimivia sijoitusperiaatteita käydään tarkemmin läpi luvussa 2.3.



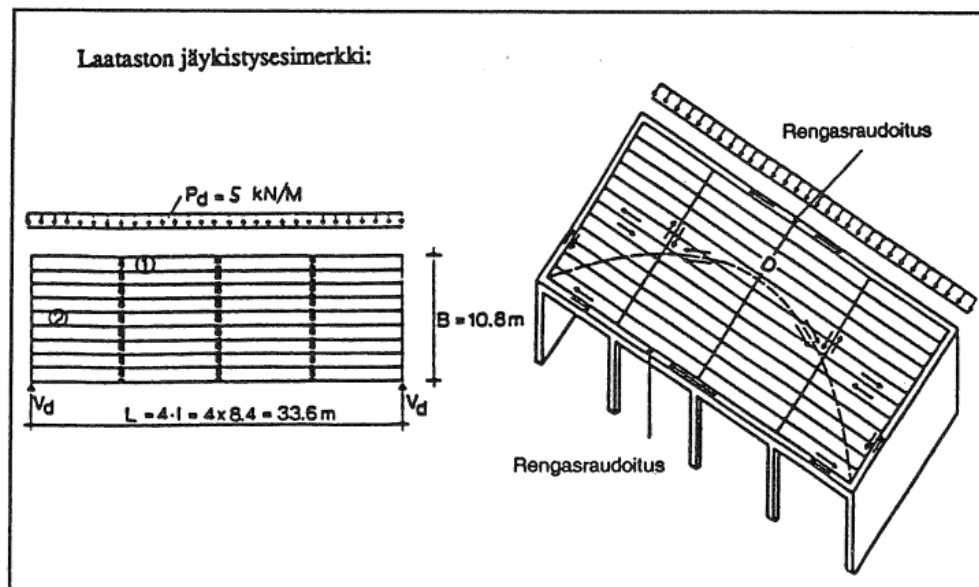
KUVA 3. Levyjäykistys. (Jäykistysjärjestelmät 2010)

2.2.4 Ristikkojäykistys

Ristikkojäykistys on levyjäykistyskaltaista. Ristikkojäykistyksessä kuitenkin jäykistyslevy on korvattu aukkoissa sijaitsevilla veto- ja puristusdiagonaaleilla. Ristikkojäykistys soveltuu hyvin myös elementtirungon jäykistykseen. Ristikkosauvojen sekä jäykistettävien rakenteiden välisten liitosten ei tarvitse olla jäykkiä, joten liitokset ovat usein edullisia toteuttaa. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 21).

2.3 Jäykistysjärjestelmän toimintaperiaate

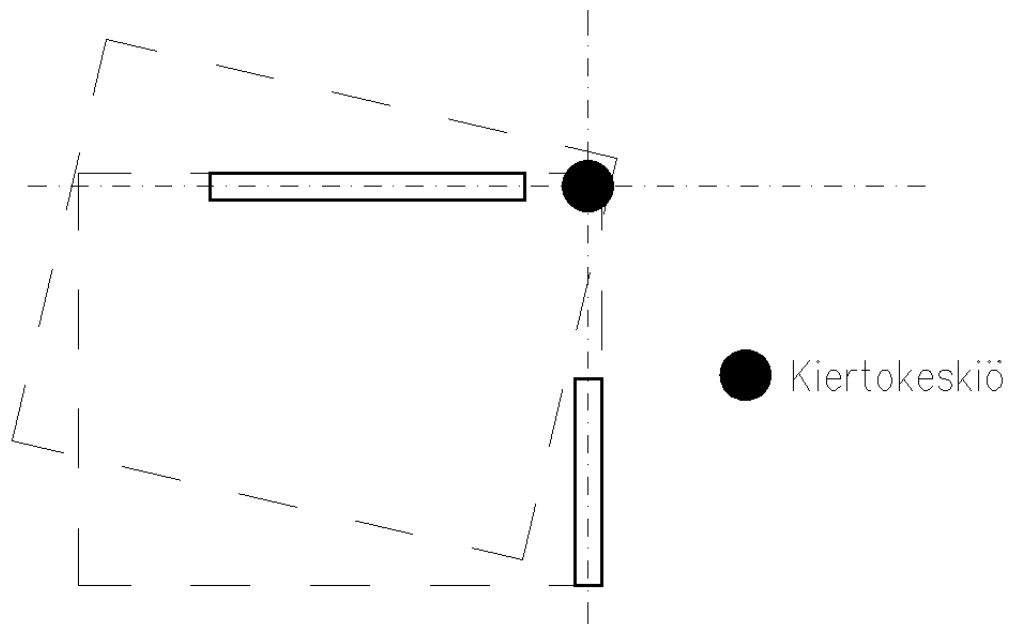
Tässä luvussa käsitellään enemmän mastojäykistystä ja mastojäykistysjärjestelmän toimintaperiaatteita. Jäykistysjärjestelmän vaakarakenteiden tulee aina toimia jäykkänä levynä. Näin toimien vaakarakenteet jakavat jäykistäville pystyrakenteille vaakasuuntaiset kuormat niiden jäykkyyksien suhteessa. Mikäli välipohjalaatasto on elementtirakenteinen, yhdistetään laatasto rengas- ja saumaraudoituksella sekä saumavaluilla jäyksi levyksi. Kun levyjäykistys muodostetaan betonisaumoilla laattaelementtien välillä, rajoitetaan pituussuuntainen keskimääräinen leikkausjännitys saumassa arvoon 0,1 MPa (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC 2004, 174). Levyä tarkastellaan vaakasuorassa tasossa olevana seinämäisenä palkkina. Rakenteen sisään ajatellaan muodostuvan puristuskaari sekä vetotanko (kuva 4).



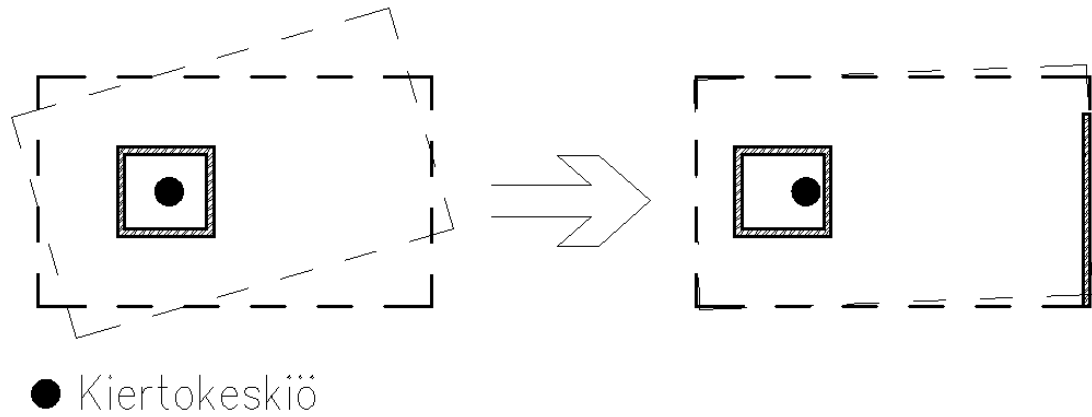
KUVA 4. Ontelolaataston levytoiminnan periaate. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 47).

Mikäli rakennuksen jäykistävät pystyrakenteet eivät sijaitse rakennuksessa symmetrisesti, syntyy rakennuksen välipohjatasoon kiertymää. Välipohjataso kiertyy rakennuksen kiertokeskiön suhteen, ja kiertymä aiheuttaa jäykistäville rakenneosille kuormituksia. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 26). Jäykistysjärjestelmä on pyrittävä suunnittelemaan mahdollisimman symmetriseksi, jotta kiertymästä aiheutuvat kuormitukset pysyvät mahdollisimman pieninä.

Toimivan jäykistysjärjestelmän perusedellytyksenä on, **että jäykistäviä rakenneosia on enemmän kuin kaksi, eivätkä rakenneosat** tai niiden ajateltu jatkos **kohtaa samassa pisteessä** (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 37). Kuvissa 5 ja 6 on esitetty yksinkertaisia esimerkkejä epäedullisista jäykistysjärjestelmistä (kuvat 5 ja 6).



KUVA 5. Jäykistäviä rakenneosia on liian vähän. Rakennus kiertyy jäykistävien seinien ajatellun risteämispisteen ympäri.



KUVA 6. Mikäli jäykistysjärjestelmässä käytetään vain yhtä mastotornia eikä se sijaitse rakennuksen keskellä, ulkoinen kuorma aiheuttaa rakenteisiin kiertymää ja lisäkuormituksia. Mikäli mastotorni sijaitsee rakennuksen reunalla, tarvitaan kiertymän pienentämiseksi talon toiseen pätyyn riittävän jäykkä rakenneosa.

Mastoseinien sijoitus pyritään toteuttamaan siten, että kullekin seinälle saadaan tarvittavat pystykuormat, eikä mastoseinään tule näin ollen vetojännityksiä. Jäykistäviä rakenneosia on myös oltava riittävästi. Kun jäykistäviä rakenneosia (mastoseiniä tai -torneja) ei saada jäykistysjärjestelmään riittävästi, voi vaakasuuntaiset liitokset olla leikkausvoimien tähden vaikea toteuttaa (Jäykistysjärjestelmät 2010).

Matalissa asuinkerrostaloissa ei yleensä jäykistäviin pystyrakenteisiin synny vetojännityksiä eikä kiertymää, mutta etenkin toimistorakennuksissa saattavat kiertymä ja siirtymät aiheuttavat huomattavia lisäkuormituksia.

3 JÄYKISTYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Tässä työssä käsitellään vain käyttötilanteen aikaista kerrostalon jäykistämistä alle 50 metriä korkeissa rakennuksissa, joissa jäykistävinä rakenneosina käytetään kantavia väliseiniä sekä mahdollisesti myös ulkoseiniä. Lisäksi tässä luvussa käydään käyttötilanteen aikaisen jäykistysjärjestelmän suunnittelun prosessi lävitse. **Käyttötilanteen aikainen tarkastelu pitää sisällään niin käyttö- kuin murtorajatilankin.** Kuitenkin etenkin onnettomuustilanteiden mitoitusta saattaa tulla määrääväksi joidenkin liitosten tai rakenneosien mitoituksessa. Rakennesuunnittelijan tulee ottaa kaikki tilanteet huomioon ja ajatella kokonaisuutta, eikä rakennuksen jäykistystä voida varmistaa kapeakatseisesti ainoastaan tätä työtä noudattaen.

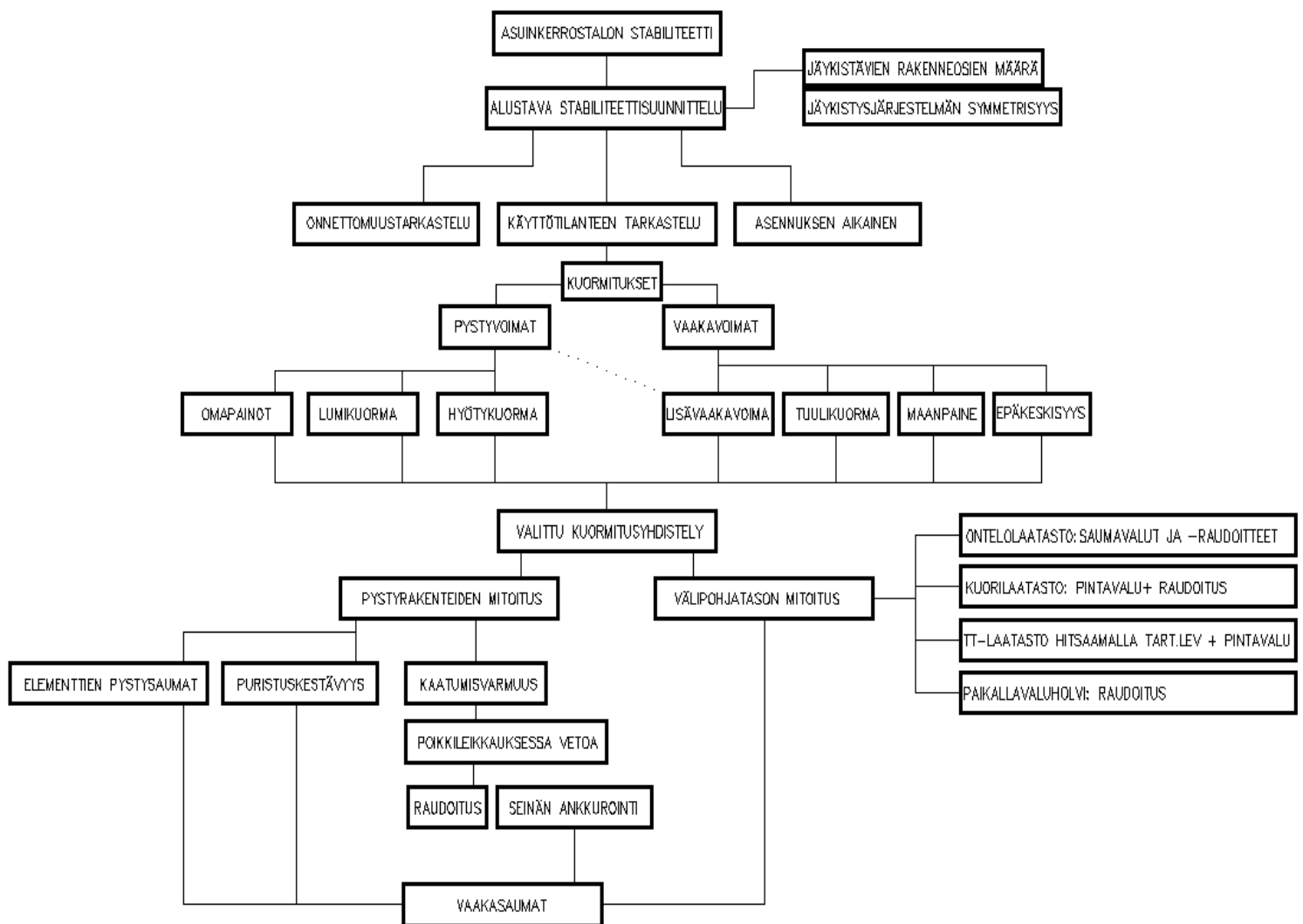
3.1 Suunnitteluprosessi

Rakennesuunnittelijan tulee tehdä vähintään alustava mitoitusta riittävän ajoissa arkkitehtisuunnittelun alkuvaiheessa, jotta rakennusrunko on mahdollista toteuttaa. Tässä vaiheessa rakennesuunnittelija muun muassa arvioi, onko rakennus riittävän jäykkä, rakennusrungon symmetrisyyden (pääseekö rakennus kiertymään) sekä sen, tarvitaanko rakennukseen liikuntasauvoja. (Jäykistysjärjestelmät 2010). Liikuntasauvoilla rakennus jaetaan itsenäisesti toimiviin lohkoihin. Liikuntasauvojen suunnittelulla pyritään minimoimaan pakkovoimat, jotka syntyvät esimerkiksi tukien painumista, virumasta, kutistumasta tai rakennuksen välipohjatasojen kiertymistä (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 8). Kokenut rakennesuunnittelija pystyy arvioimaan jo luonnosvaiheessa jäykistysjärjestelmän toimivuutta.

Jäykistysjärjestelmä mitoitetaan sekä murto- että käyttörajatilassa. Murtorajatilassa on tarkastettava jäykän kappaleen tasapaino, ajasta riippuva vaurioituminen (esimerkiksi väsyminen) sekä rakennuksen staattinen tasapaino. Staattinen tasapaino tarkastellaan sen pisteen suhteen, jonka ympäri rakennuksen tai jäykistysrakenteen oletetaan kaatuvan. (Jäykistysjärjestelmät 2010).

Kuten kaikissa betonirakenteissa, myös jäykistysjärjestelmiä mitoitettaessa halkeamaleveydet tarkastellaan käyttörajatilassa. Lisäksi keskeinen käyttörajatilassa tarkasteltava asia on taipumat. Taipumien avulla voidaan jossain määrin arvioida myös värähtelyn suuruutta. Taipumille ei ole eurokoodissa määritetty mitään selvää raja-arvoa. Yleensä taipumat pyritään rajaamaan maksimissaan $H/400$ - $H/1000$, missä H on rakennuksen korkeus. (Jäykistysjärjestelmät 2010).

Rakennuksen käyttötilanteen aikaisen jäykistys suunnittelun prosessin tehtävät on koottu prosessikaavioon (kuvio 1). Laskennan teoriaa on käyty tarkemmin lävitse luvusta neljä lähtien. Stabiilitetarkastelu aloitetaan kuormitusten selvittämällä. Pystysuuntaisiin kuormiin kuuluvat tavallisessa tapauksessa lumi-, hyöty- sekä omapainot. Rakenteiden vinoudesta johtuen pystyvoimat aiheuttavat rakennukseen myös vaakavoimia. Muita vaakavoimia rakennuksen runkoon kohdistuu tavallisesti tuuli- sekä maanpaine kuormista.



KUVIO 1. Stabiilitetin laskennan prosessikaaviota.

3.2 Suunnittelua ohjaavat normit

Tämä työ on tehty eurokoodeja SFS-EN1990 (suunnitteluperusteet), SFS-EN1991-1-1(yleiset kuormat), SFS-EN1991-1-3 (lumikuormat), SFS-EN1991-1-4 (tuulikuormat), SFS-EN1992-1-1 (betonirakenteet) sekä SFS-EN1997-1-1 (geotekniikka) noudattaen. Eurokoodit viittaavat joissain kohdin kansallisiin liitteisiin, ja myös tässä työssä on käytetty apuna Suomen Ympäristöministeriön julkaisemia kansallisia liitteitä sekä ohjeita. Lisäksi tässä työssä on käytetty apuna Eurokoodiin pohjautuvaa by210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008 -kirjaa.

4 KUORMITUKSET

Varsinaisen rakenteiden mitoittamisen aluksi suunnittelijan täytyy määrittää rakennukselle tulevat kuormat. Tässä luvussa käydään läpi yleisimpien kuormitusten laskeminen.

4.1 Tuulikuorma

Tuulikuorman laskentaa käsittelevän standardin SFS-EN1991-1-4 mukaan rakennuksen jäykistystä laskettaessa on määritettävä kokonaistuulivoima (2005, 44). Kokonaistuulivoima voidaan määrittää sekä pintapaineiden, että voimakertoimien avulla (SFS-EN 1991-1-4+AC+A1 2011, 44). Julkaisussa RIL201-1-2017, luvussa 1.4 on annettu melko selkeät ohjeet eurokoodin mukaisesta tuulivoimien määrittämisestä. Tuulikuorman määrittämisen lähtötietoina tarvitaan rakennuksen mitat, ympäristön pinnanmuotojen rosoisuus sekä maastoluokka. Lähtötietojen avulla määritetään tuulen nopeuspaine eli puuskanopeuspaine.

Käydään tarkemmin läpi rakennuksen kokonaistuulivoiman määrittäminen pintapaineiden avulla laskettuna. Kokonaistuulivoima koostuu ulko- ja sisäpintaan vaikuttavista painekuormista sekä kitkan vaikutuksesta. Kokonaistuulivoima lasketaan kaavan 1 mukaan. (RIL201-1-2017 2017, 144).

$$F_w = \gamma_e + F_{w,e} + F_{w,i} + F_{fr}, \quad (1)$$

jossa F_w on kokonaistuulivoima

γ_e on kerroin, jonka avulla otetaan huomioon, että rakennuksen etu- ja takapuolella esiintyvät paine- ja imuvoimien huippuarvot eivät esiinny samaan aikaan. γ_e lasketaan kaavoilla 2 ja 3. (RIL201-1-2017 2017, 144)

$$\gamma_e = 1,0, jos \frac{h}{d} \geq 5 \quad (2)$$

$$\gamma_e = 0,85, jos \frac{h}{d} \leq 1, \quad (3)$$

jossa h on rakennuksen korkeus,
 d on rakennuksen pituusmitta tuulen suunnassa,
 $F_{w,e}$ on rakennuksen ulkopintaan vaikuttava painekuorma,
 $F_{w,i}$ on rakennuksen sisäpintaan vaikuttava painekuorma ja
 F_{fr} on kitkavoima.
Väliarvot interpoloidaan.

Rakennuksen ulkopintaan vaikuttava painekuorma $F_{w,e}$ saadaan laskettua (RIL201-1-2017 2017, 143).

$$F_{w,e} = c_s c_d * \sum w_e * A_{ref}, \quad (4)$$

jossa w_e on yksittäiseen pintaan vaikuttava ulkopuolinen paine
 $q_p(z_e)$ on puuskanopeuspaine korkeudella z_e
 C_{pe} on ulkoisen paineen kerroin, taulukoitu taulukkoon 1
 $c_s c_d$ on rakennekerroin
 A_{ref} on yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala. (RIL201-1-2017, 143).

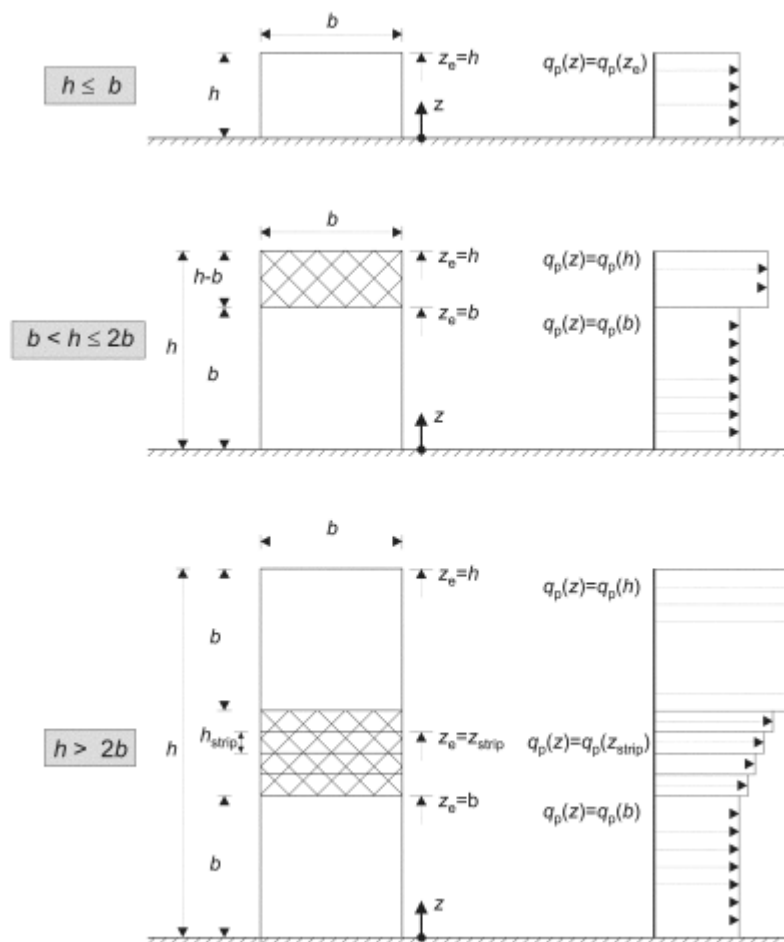
Kaavan 4 ratkaisuun tarvitaan yksittäiseen pintaan vaikuttava ulkopuolinen paine w_e , joka lasketaan

$$w_e = q_p(z_e) * C_{pe} \quad (5)$$

Puuskanopeuspaine lasketaan joko yhdessä tai useammassa kohdin rakennusta, riippuen rakennuksen korkeudesta ja tuulta vastaan kohtisuoraan olevan sivun leveydestä. Kuvassa 4 on esitetty nopeuspainekorkeuden riippuvuus rakennuksen korkeudesta h sekä leveydestä b .

TAULUKKO 1. Ulkoisten paineen kertoimet vyöhykkeille yli 10 m² suuruisille pinnoille. Vyöhykkeiden paikat on esitetty kuvassa 5. (RIL 201-1-2017 2017, 150, muokattu)

Vyöhyke	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
> 5	-1,2	-0,8	-0,5	+0,8	-0,7
1	-1,2	-0,8	-0,5	+0,8	-0,7
$< 0,25$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,8	-0,7



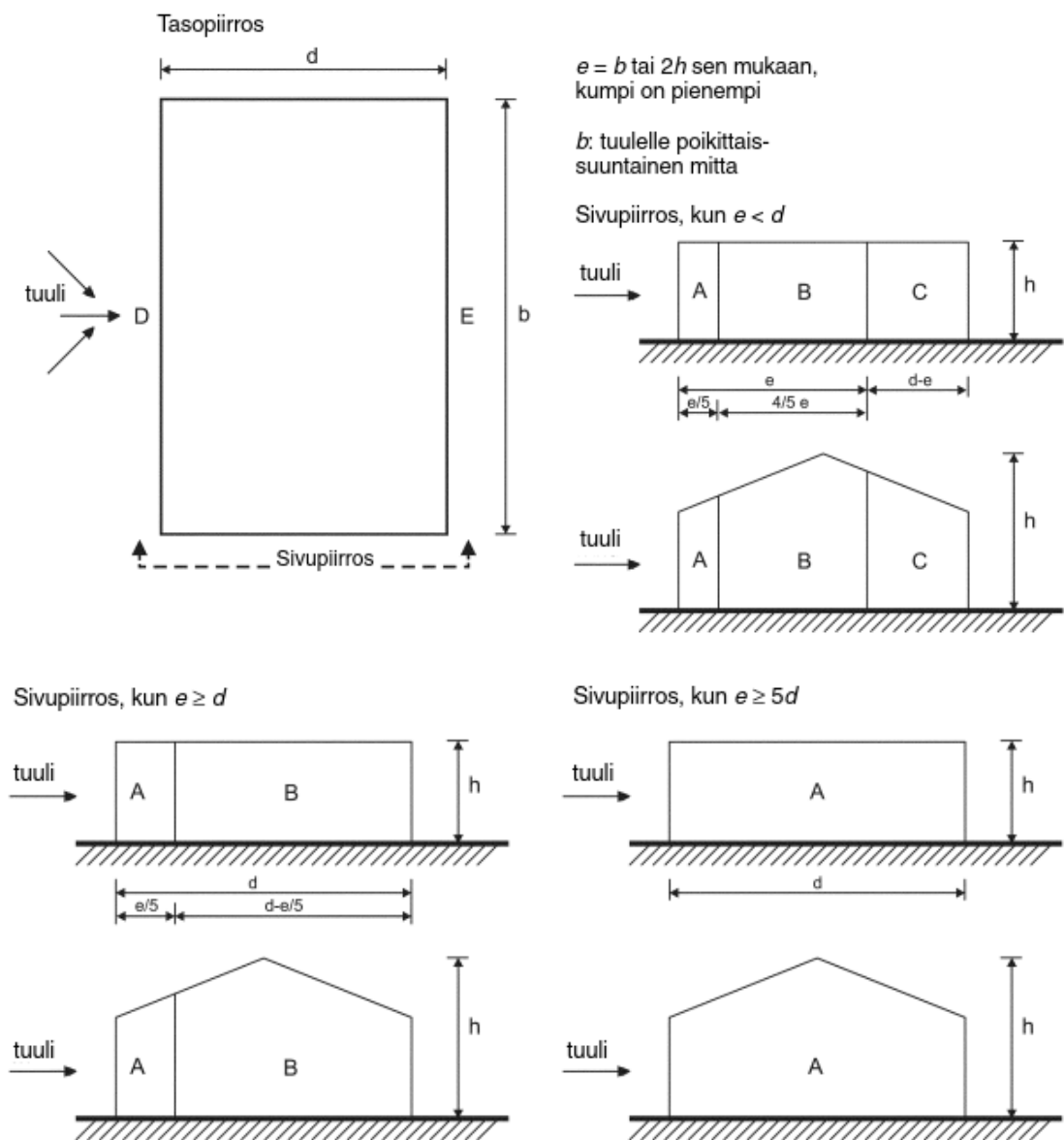
KUVA 4. Puuskanopeuspaineen laskenta riippuen rakennuksen korkeudesta h sekä leveydestä b (SFS-EN 1991-1-4+AC+A1 2011, 62).

Rakennekertoimelle $c_s c_d$ voidaan käyttää arvoa 1 seuraavissa tapauksissa:

- Rakennuksen korkeus on alle 15m

- Rakennuksen rungossa on kantavat seinät, joiden korkeus on alle 100m, ollen samalla pienempi, kuin 4 kertaa rakennuksen tuulensuuntainen mitta. (RIL 201-1-2017 2017, 145).

Muissa tapauksissa rakennekertoimen $c_s c_d$ määrittäminen SFS-EN-1991-1-4 kohdan 6. mukaan.



KUVA 5. Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio (SFS-EN 1991-1-4+AC+A1 2011, 62).

Rakennuksen sisäpintaan vaikuttava painekuorma $F_{w,i}$ saadaan lausekkeella

$$F_{w,i} = \sum w_i * A_{ref}, \quad (6)$$

jossa $w_i = q_p(i) * C_{pi}$ on pintaan vaikuttava sisäpuolinen paine.

C_{pi} on sisäisen paineen kerroin

z_i on sisäpuolisen paineen nopeuspainekorkeus

A_{ref} on yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala (RIL 201-1-2017 2017, 143).

Sisäpuolisen paineen kerroin C_{pi} on riippuvainen rakennuksen vaipassa olevien aukkojen koosta ja jakautumasta. Sisäinen ja ulkoinen paine vaikuttavat samanaikaisesti. (RIL201-1-2017 2017, 161). Sisäisen paineen kertoimen laskeminen on esitetty julkaisussa RIL201-1-2017, osa 1.4 luvussa 7.2.9.

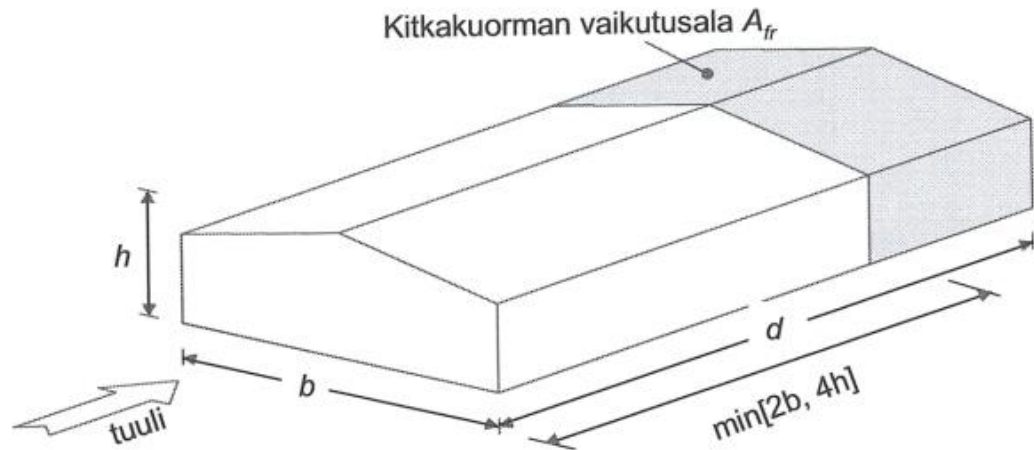
RIL201-1-2017 mukaan kitkasta syntyvät vaikutukset voidaan jättää huomioimatta, kun tuulen suuntaisten pintojen kokonaisala on maksimissaan 4 kertaa tuulta vastaan kohtisuorien ulkopintojen kokonaisala (2017, 143). Muissa tilanteissa kitkakuorma F_{fr} lasketaan kaavan 7 mukaan.

$$F_{fr} = c_{fr} * q_p(z_e) * A_{fr}, \quad (7)$$

jossa c_{fr} on kitkakerroin, taulukoitu taulukkoon 2 ja A_{fr} on kitkakuorman vaikutusalue (RIL201-1-2017, 143). Kitkakuorman vaikutusalueen määrittäminen kuvataan kuvassa 6.

TAULUKKO 2. Kitkakertoimien arvot eri pinnoille. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 110, muokattu)

Pinta	Kitkakerroin C_{fr}	Selite
Sileä	0,01	Teräs, sileä betoni
Karhea	0,02	Karhea betoni, kattuhuopa
Hyvin karhea	0,04	Aalto-, ripa tai poimuprofilointi



KUVA 6. Kitkakuorman vaikutusala. (RIL201-1-2017, 170)

4.2 Lumikuorma

Katon lumikuorman suuruuteen vaikuttaa rakennuksen maantieteellinen sijainti sekä katon eri ominaisuudet. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi katon muoto ja sen pinnan karheus, lämpöominaisuudet, viereisten rakennusten läheisyys sekä rakennuksen ympärillä oleva maasto. Katon lumikuorma määritellään julkaisun RIL201-1-2017 mukaan seuraavasti (2017, 100):

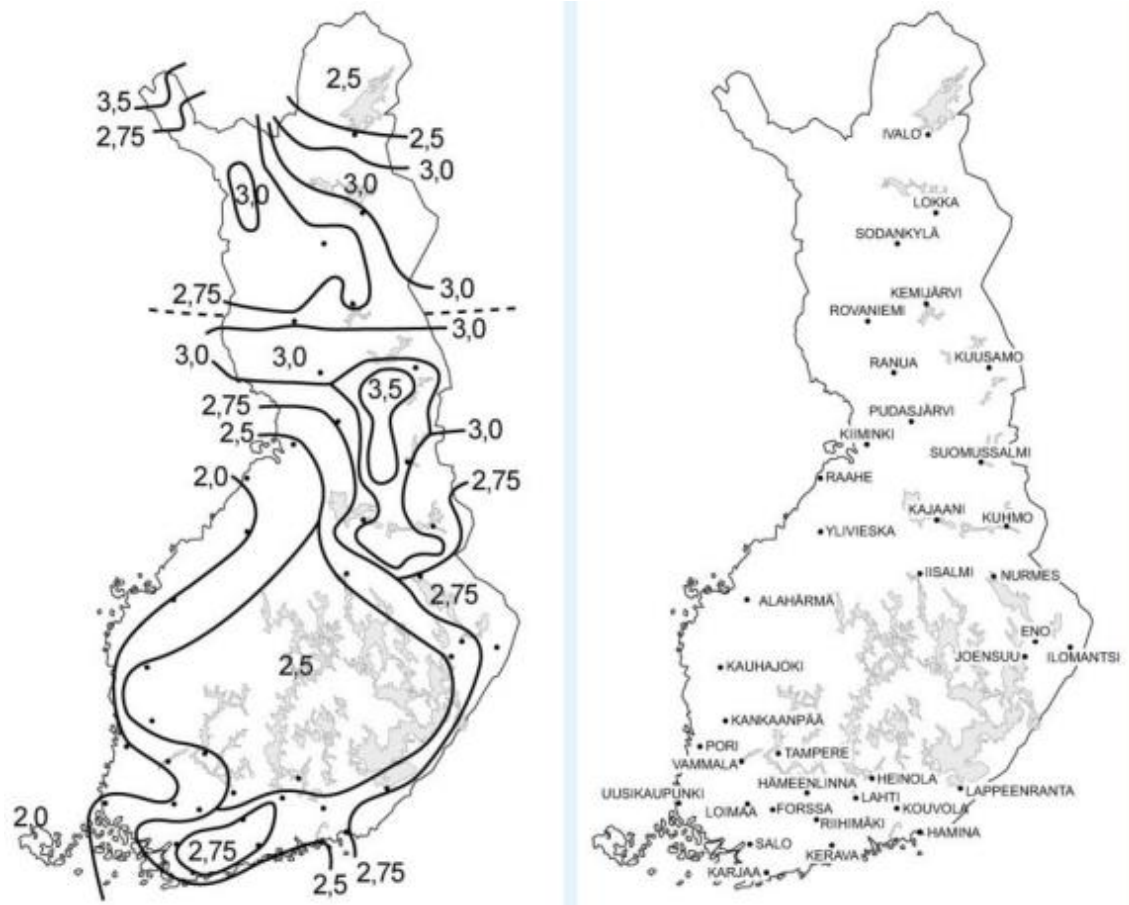
$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (8)$$

μ_i on lumikuorman muotokerroin (taulukko 5)

s_k on maassa olevan lumikuorman ominaisarvo (kuva 7)

C_e on tuulensuojaisuuskerroin, arvot esitetty taulukossa 3. Mikäli katon lyhyempi sivumitta on vähintään 50m, taulukon arvot kerrotaan taulukon 4 mukaisilla korotuskertoimilla

C_t on lämpökerroin, arvo tavallisesti 1,0



KUVA 7. Lumen ominaisarvot maassa. (Ympäristöministeriö 2016, 15)

TAULUKKO 3. Katon tuulensuojaisiuskertoimen arvot. (Ympäristöministeriö 2016, 17)

Maastotyyppi	C_e
Tuulinen	0,8 (1,0, mikäli lyhyempi sivumitta > 50 m)
Normaali	1,0
Suojainen	1,2

Tuulinen maasto: laakea, esteetön, joka puolelle avoin alue, jolloin maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut eivät suojaa tai suojaavat vain vähän.
 Normaali maasto: alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.
 Suojainen maasto: alue, jolla tarkasteltava rakennuskohde on huomattavasti alempana kuin ympäröivä maasto tai se on korkeiden puiden tai itseään korkeampien rakennuskohteiden ympäröimä.

TAULUKKO 4. Katon tuulensuojaisiuskertoimen korotuskertoimet lumikuormaa määrittäessä katolle, jonka lyhyemmän sivun pituus on yli 50m. (Ympäristöministeriö 2016, 16)

Lyhyt sivu (m)	Pitkän sivun suhde lyhyeen sivuun	
	1	2
50	1,0	1,1
75	1,1	1,2
100	1,2	1,25

Tavallisesti katolla sijaitsevan lumen laskentakaava supistuu kaavan 9 mukaiseen muotoon (RIL201-1-2017 2017, 101).

$$S = \mu_i * S_k \quad (9)$$

TAULUKKO 5. Katon lumikuorman muotokertoimet. (SFS-EN 1991-1-3+AC+A1 2015, 32)

Katon kaltevuuskulma α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1(\alpha)$	$\mu_1(0^\circ) \geq 0,8$	$\mu_1(0^\circ) \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_2(\alpha)$	0,8	$0,8 \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_3(\alpha)$	$0,8 + 0,8 \alpha/30^\circ$	1,6	–

Edellä mainittua lumikuorman määrittämisen tapaa voidaan käyttää kinostumattomana sekä harja-, saha, että pulpettikatoille. Sahakatossa sekä lappeiden jiirialueilla on kuitenkin huomioitava kinostuva lumi. Muotokerroin μ_3 on kinostumien laskentaan käytettävä kerroin.

4.3 Maanpaine kuormat

Usein asuinrakennuksissa on jollakin sivulla maapaineseiniä. Täytemaa sekä piha-alueelta tulevat kuormat aiheuttavat seiniin vaakasuuntaista kuormitusta. Maanpaine kuorma luetaan rakenteen pysyviin kuormiin (SFS-EN-1991-1-1+AC 2002, 18). Maanpaineen suuruus on riippuvainen seinämän liikkeistä. Mikäli maanpaine seinä myötää rasituksen aikana, maan leikkauslujuus alkaa vastustamaan maapohjan muodonmuutosta ja paine maanpaine seinää vastaan pienenee. Tällaista painetta kutsutaan aktiivipaineeksi. Mikäli taas maanpaine seinä on liikkumaton, ei sen takana maamassa pyri myöskään liikkumaan. Maassa vallitsevasta pystyjännityksestä aiheutuu vaakajännitys. Tällaista maapainetta kutsutaan lepopaineeksi. (Jääskeläinen, 2011, 172). Lepopaine on suurempi, kuin aktiivipaine. Maanpaineen suuruus lasketaan kaavalla 10 (Kulmala 2015, 288)

$$p_0 = K_0 * \sigma_z = K_0 * (\gamma * z + q), \quad (10)$$

jossa z on tarkastelusyvyys, γ on maan tilavuuspaino, q on pintakuorma maan pinnalla. Kun maanpinta on tasainen ja vaakasuuntainen, lepopainekerroin K_0 lasketaan kaavan 11 mukaan.

$$K_0 = (1 - \sin \varphi') * \sqrt{OCR}, \quad (11)$$

jossa φ' on maan kitkakulma, OCR on ylikonsolidoitumissuhde. Normaalikonsolidoituneessa maassa OCR=1. (SFS-EN 1997-1+A1+AC 2014, 99).

4.4 Pystykuormat

Rakennuksen pystysuuntaiset kuormat syntyvät rakenteiden omasta painosta sekä hyötykuormista. Seuraavassa luvussa on käsitelty tarkemmin hyötykuormien määräytymistä.

4.4.1 Hyötykuormat

Rakennusten hyötykuormat aiheutuvat tilojen käytöstä. Hyötykuormat ovat usein pystysuuntaisia kuormia, ja niiden määrittämistä varten rakennusten väli- ja yläpohjien alat jaetaan niiden käyttötarkoituksen mukaisiin luokkiin. (SFS-EN1991-1-1+AC 2002, 30). Tilat jaetaan käyttötarkoituksen perusteella käyttöluokkiin ja hyötykuormat tulevat tilan käyttöluokan perusteella. Taulukossa 6 on esitetty rakennusten käyttöluokat ja niiden hyötykuormien arvot.

TAULUKKO 6. Rakennusten käyttöluokat ja hyötykuormat. (Ympäristöministeriö 2016, 5)

Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]			Q_k [kN] (portaat suluissa)
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
Luokka A Asunto- ja majoitustilat	2,0	2,0	2,5	2,0 (2,0 [*])
Luokka B Toimistotilat	2,5	3,0	2,5	2,0 (2,0)
Luokka C Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua				
– C1	2,5	3,0	2,5	3,0 (2,0)
– C2	3,0	3,0	3,0	3,0 (2,0)
– C3	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
– C4	5,0	3,0	5,0	4,0 (2,0)
– C5	6,0	6,0	6,0	4,0 (2,0)
Luokka D Myymäälätilat				
– D1	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
– D2	5,0	6,0	5,0	7,0 (2,0)
[*] Asunnon sisäiset portaat $Q_k = 1,5$ kN				

Myös rakenteiden omat painot joiden sijainti saattaa vaihdella, kuten esimerkiksi siirrettävät väliseinät, luetaan hyötykuormaksi. Tällaisesta hyvä esimerkki on siirrettävät, ns. kevyet väliseinät. Esimerkiksi siirrettävät väliseinät, joiden oma paino on pienempi kuin 1,0kN/m, voidaan ajatella tasaisesti jakautuneena kuormana, $q_k=0,5\text{kN/m}^2$. (SFS-EN 1991-1-1 + AC 2002, 32)

SFS-EN 1991 sekä Suomen kansallinen liite antavat mahdollisuuden käyttää pilareiden ja seinien mitoituksessa hyötykuormien kerrosvähennystä, kun pystysuuntaiselle rakennosalle tulee hyötykuormaa samanaikaisesti useammalta välipohjalta. Tätä ei kuitenkaan yleensä kannata käyttää jäykistävien rakennosien mitoituksessa, sillä pystysuuntaiset kuormat vakavoittavat rakennetta, eikä seinän kantokestävyys useinkaan tavanomaisissa kerrostalokohteissa tule määrääväksi.

4.5 Kuormitusyhdistelyt

Eurokoodissa rakenteiden mitoittaminen perustuu osavarmuuslukumenetelmän käyttämiseen, eli varmuuskertoimia käytetään sekä kuormien, että kestävyyksien laskennassa. Menetelmää käytettäessä tulee osoittaa, että mitään rajatilaa ei ylitetä missään mitoitustilanteessa. (RIL201-1-2017 2017, 37).

Seuraavat murtorajatilat tulee ainakin tarkistaa:

- jäykän kappaleen tai sen osan staattisen tasapaino (EQU) (RIL201-1-2017 2017, 37).
 - esimerkiksi rakennuksen jäykistysrakenteen kaatumistarkastelu
- rakenteen sisäinen vaurioituminen tai liian suuri siirtymätila, kun materiaalin lujuus on määräävä (STR) (RIL201-1-2017 2017, 37).
 - esim. poikkileikkauksen lujuusmitoitus
- maan pettäminen tai liian suuri siirtymätila, kun maakerroksen lujuus on merkittävä. (GEO) (RIL201-1-2017 2017, 37).
- rakenteen tai rakenneosien väsymismurtuminen (FAT) (RIL201-1-2017 2017, 37).

Työn lopussa olevat esimerkkilaskut ovat laskettu STR-rajatilassa vain yhdessä kuormitusyhdistelmässä. Kyseessä olevassa rajatilassa voidaan mitoittaa mastoseinän liitokset ja materiaalien kestävyys. Kuorman mitoitusarvon lauseke lasketaan STR-rajatilassa yleisessä muodossa kaavan 12 mukaan (RIL 201-1-2017 2017, 40).

$$\left(\frac{1,15 * K_{FI}}{0,9} \right) * \sum G_k + 1,5 * K_{FI} * Q_{K1} + 1,5 * K_{FI} * \sum \psi_{0,1} * Q_{k,i} \quad (12)$$

Kuitenkin vähintään:

$$\left(\frac{1,35 * K_{FI}}{0,9} \right) * \sum G_k \quad (13)$$

Epäedullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat kerrotaan kuormitusyhdistelmässä kertoimella $1,15 \cdot K_{FI}$, kun taas edullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat saavat kertoimen $0,9 \cdot K_{FI}$. K_{FI} on kerroin, joka määräytyy rakennuksen seuraamusluokan perusteella. Rakennuksen seuraamusluokat löytyvät taulukosta 7. Kun hyöty-, lumi-, ja tuulikuormista vähintään kaksi kuormaa vaikuttavat samaan aikaan, yksi muuttuva kuorma on määräävä. Muiden muuttuvien kuormien edessä käytetään kerrointa $\psi_{0,i}$. Kerroimet löytyvät taulukosta 8.

TAULUKKO 7. Rakennusten ja rakenteiden luokittelu seuraamusluokkiin. (Suunnittelu-
perusteet 2010)

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenki- en menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko ¹⁾ jäykistävine rakennusosi- neen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten <ul style="list-style-type: none"> • yli 8-kerroksiset ²⁾ asuin-, konttori- ja liikeraken- nukset • konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot • raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisäl- tävät rakennukset Erikoisrakenteet kuten esim. suuret mastot ja tornit Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet hienorakeisten maalajien alueilla siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmis- henkien menetysten tai merkittä- vien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmis- henkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinko- jen takia	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä kuten esim. varastot Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten <ul style="list-style-type: none"> – matalalla olevat alapohjat ilman kellaritiloja – ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne – sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykis- tävän rungen osana – standardin SFS-EN 1993-1-3 rakenneluokkien (structu- ral class) II ja III muotolevyrakenteet. – standardin SFS-EN 1993-1-3 rakenneluokan (structural class) I muotolevyrakenteet levyyn taivutusta aiheuttaville pintaa vasten kohtisuorille kuormille ³⁾.
¹⁾ ylä- ja välipohjat kuuluvat kuitenkin luokkaan CC2 elleivät ne toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena. Rakennuksen koostuessa erilaisista toisistaan riippumattomista rakennusosista määritetään kunkin osan seuraamusluokka erikseen. ²⁾ kellarikerrokset mukaan luettuina. ³⁾ ei koske kuormituksia, jotka syntyvät, kun muotolevyrakenteita käytetään siirtämään levytason suuntaisia leikkausvoimia (levyvaikutuksen hyväksikäyttö) tai normaalivoimia.		

Kertoimen K_{FI} arvot:

- seuraamusluokassa CC3 $K_{FI} = 1,1$
- seuraamusluokassa CC2 $K_{FI} = 1,0$
- seuraamusluokassa CC1 $K_{FI} = 0,9$

TAULUKKO 8. Kuormien yhdistelykertoimet. (Suunnitteluperusteet 2010)

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (katso SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3) ^{*)} kun $s_k < 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma ^{**)}	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (katso SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (katso SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
^{*)} Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huom: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään ψ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. ^{**)} Lisätty Suomen kansalliseen liitteeseen.			

5 LISÄVAAKAVOIMAT

Rakenteissa esiintyy aina mittapoikkeamia. Pystysuorat rakenneosat eivät ole absoluuttisen suoria, ja tästä syystä vinon rakenneosan päässä vaikuttava pystysuuntainen voima aikaansaa rakenteeseen kaatavaa momenttirasitusta. Rakenteiden vinouden θ_i vaikutus voidaan huomioida rakennemalliin lisättävin poikittaisvoimin. (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC 2015, 55-56).

Lisävaakavoimien suuruus riippuu pystykuormien suuruudesta. Eurokoodi antaa ohjeet lisävaakavoimien laskentaan materiaalikohtaisissa julkaisuissa. Kuvassa 8 on esitetty esimerkkejä mittaepätarkkuuksien vaikutuksista betonirakenteisessa rakennuksessa. Rakenteiden vinous lasketaan kaavalla 14.

$$\theta_i = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m, \quad (14)$$

jossa θ_i on rakenteen vinous, θ_0 on vinouden perusarvo (1/200), α_h on rakenteen pituuden tai korkeuteen perustuva pienennyskerroin, joka lasketaan kaavalla 15, α_m on rakenneosien määrään perustuva pienennyskerroin joka määritetään kaavan 16 avulla. (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC 2015, 55).

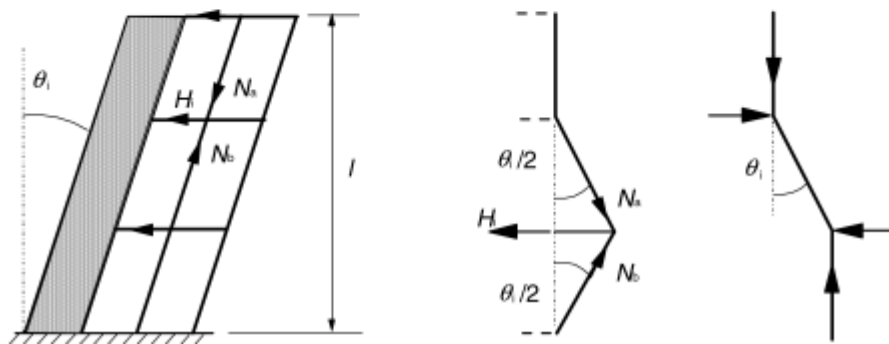
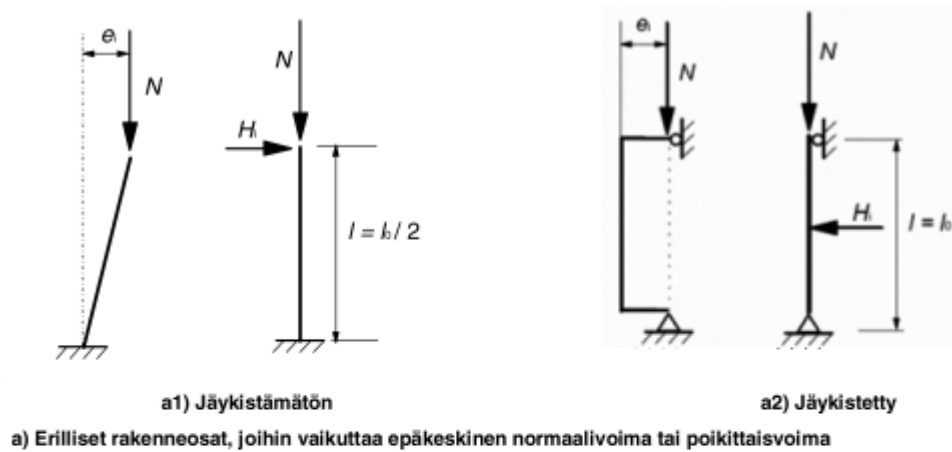
$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}; \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1, \quad (15)$$

jossa l on rakenteen pituus tai korkeus (kuva 8) (SFS-EN 1992-1-1 2015, 55).

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)}, \quad (16)$$

jossa m on pystyrakenteosien määrä (SFS-EN 1992-1-1 2015, 55).

Lisävaakavoima lasketaan eri tavoin riippuen missä yhteydessä lisävaakavoimia lasketaan. Kuvassa 8 yläpuoliset kuvat ovat tapauksista, joissa mitoitetaan erillisiä rakenneosia, kun taas alapuoliset kuvat liittyvät rakennuksen jäykistysjärjestelmien mitoittamiseen.



KUVA 8, Esimerkkejä mittaepätarkkuuksien vaikutuksesta. (SFS-EN1992-1-1+A1+AC 2015, 56)

Tässä työssä tahdotaan laskea rakenteiden vinouden vaikutus jäykistysjärjestelmän pystyrakenneosiin (kuva 8, vasen alareuna), joten vinoudesta aiheutuva lisävaakavoima H_i kullekin kerrokselle lasketaan kaavan 17 mukaisesti (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC 2015, 56).

$$H_i = \frac{\theta_i}{(N_b - N_a)}, \quad (17)$$

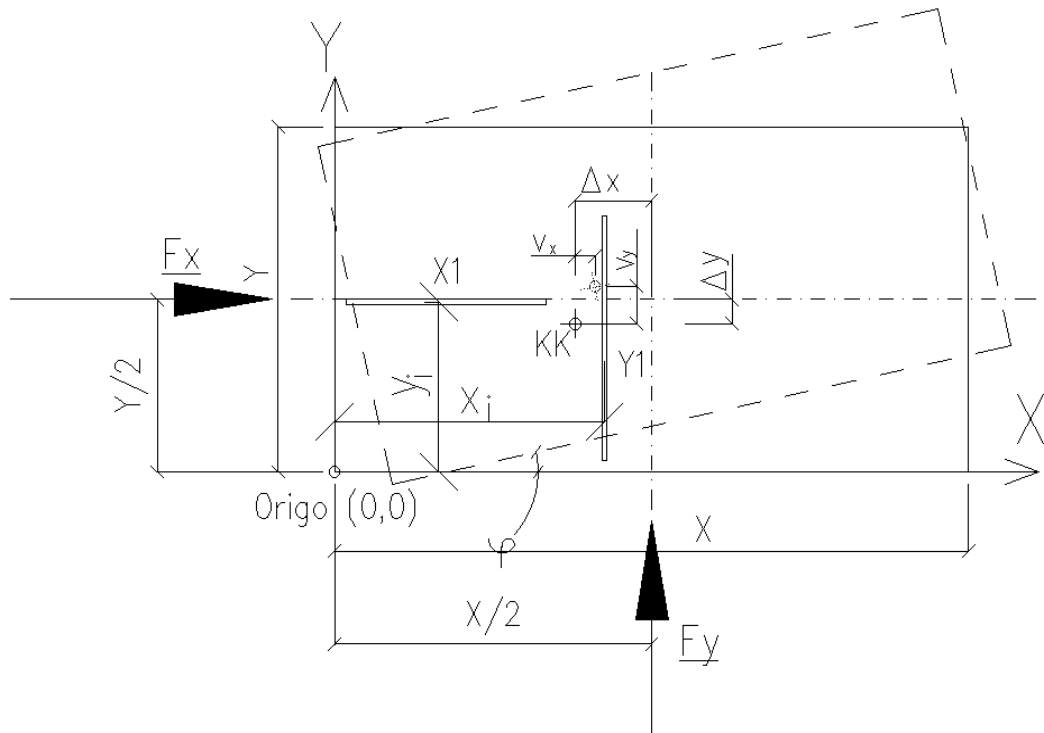
jossa N_a ja N_b ovat poikittaisvoimaan H_i vaikuttavia pituussuuntaisia voimia.

6 KUORMIEN JAKAUTUMINEN JÄYKISTÄVILLE SEINILLE

Tässä luvussa käydään kuormien jakautumisen laskentaa lävitse. Luvussa 2.4 käytiin jo alustavasti lävitse jakautumisen teoriaa. Kuormien jakautuminen on laskettu Valmisosarakentamisen kansion II osan G mukaisesti (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 29-32). Laskelmissa rakennus asetetaan kuvitteelliseen koordinaatistoon, jonka origo sijaitsee rakennuksen vasemmassa alanurkassa (kuva 9). Seinät ottavat vastaan vaakasuuntaista kuormaa jäykkyyksiensä suhteessa, ja koska y-suuntaisen seinän x-suuntaisen jäykkyys on häviävän pieni verrattuna x-suuntaiseen seinään, ajatellaan seinien ottavan vastaan vain niiden vahvemman jäykkyyden suuntaisia kuormia (RTT Rakennustuoteteollisuus 1995, 32). Laskennan teoria aukenee helpoiten kaavojen yhteydessä.

Kiertokeskiön paikka määritetään seinien jäykkyyksien ja staattisen momenttien avulla. Kunkin seinän ottamaan kuorman suuruuteen vaikuttaa siis seinän jäykkyys sekä seinän etäisyys rakennuksen kiertokeskiöstä (Leskelä 2008, 182). Kiertokeskiö, josta puhutaan jossain yhteyksissä myös vääntökeskiönä, on piste, jonka ympäri rakennuksen välipohjataso kiertyy. Eli mikäli ulkoisen kuormituksen resultantti vaikuttaa kohtisuoraan rakennuksen kiertokeskiöön, ei kuormitus aiheuta kiertymää.

Mikäli mastoseinissä on aukkoja, tulee niiden vaikutus ottaa huomioon. Tässä opinnäytetyössä on ajateltu yksinkertaistetusti, että jäykistävinä rakenteina toimii vain aukottomia seiniä. Ohjeita seinän heikennysten arviointiin löytyy muun muassa Valmisosarakentaminen II -julkaisusta.



KUVA 9. Jäykistyslaskennan termistöä. Kuva on periaatteellinen. Jäykistysjärjestelmässä on oltava vähintään kolme jäykistävää seinää, jotka eivät kohtaa samassa pisteessä.

6.1 Symmetrinen jäykistysjärjestelmä

Mikäli jäykistävät pystyseinät on sijoitettu symmetrisesti rakennukseen, eikä ulkoinen vaakakuorma näin ollen aiheuta välipohjatasoon kiertymää, voidaan ulkoiset kuormat jakaa jäykistäville rakenteille suoraan niiden jäykkyyksien suhteessa. (RTT Rakennustuteteollisuus ry 1995, 26)

$$Q_y = \frac{k_y}{\Sigma k_y} * F_y, \quad (18)$$

jossa Q_y on seinärakenteen ottama kuorma ja k_y on seinän y-suuntainen jäykkyys, laskenta, ks luku 6.2.

6.2 Epäsymmetrinen jäykistysjärjestelmä

Mikäli rakennuksen jäykistysjärjestelmä ei ole symmetrinen, kiertyy välipohjataso kiertokeskiönsä suhteen. Kiertyminen aiheuttaa lisäkuormituksia rakenteille, jotka on tapauskohtaisesti selvitettävä. Laskelmien aluksi on selvitettävä rakennuksen kiertokeskiön paikka. Kiertokeskiön laskemiseksi tarvitaan kunkin seinän jäykkyys, sekä seinän poikkileikkauksen painopisteen etäisyys laskentaorigosta. Yksittäisen rakenneosan jäykkyys lasketaan kaavoilla 19 ja 20, riippuen kumman akselin suuntaisesti rakenneosa jäykistää rakennusta.

$$\frac{1}{k_y} = \frac{H^3}{3 * E * I_y} + \kappa_x * \frac{H}{G * A} \quad (19)$$

$$\frac{1}{k_x} = \frac{H^3}{3 * E * I_x} + \kappa_y * \frac{H}{G * A}, \quad (20)$$

jossa k_y ja k_x ovat seinän jäykkyys, alaindeksi kertoo kumman akselin suuntainen jäykkyys on.

E on seinän kimmokerroin

I_y ja I_x ovat seinäpoikkileikkauksen jäyhyysmomentit y- ja x suuntaisten neutraaliakseliensä suhteen.

H on mastoseinän korkeus

A on seinäpoikkileikkauksen pinta-ala

G on seinän liukumoduuli, joka lasketaan kaavalla 21. (RTT Rakennustutkimus ry 1995,28)

$$G = \frac{E}{2 * 1 + \nu}, \quad (21)$$

jossa ν on poissonin luku, vakio 0,20. Kertoimet κ_x ja κ_y saadaan kaavoista 22 ja 23.

$$\kappa_y = A / (I_y^2) * \int \frac{S^2(x)}{t(x)} dx \quad (22)$$

$$\kappa_x = A/(I_x^2) * \int \frac{S^2(y)}{(t(y))} dy, \quad (23)$$

jossa S on poikkileikkauksen staattinen momentti neutraaliakselinsa suhteen, ja t on seinän paksuus. Suorakaiteen muotoisille rakenneosille $\kappa_i = 1,2$ jäykistävään suuntaan (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995,26).

Maston jäykkyys koostuu taivutusjäykkyydestä sekä jäykkyydestä leikkausvoimien aiheuttamia muodonmuutoksia vastaan. Jäykkyyden summalausekkeen (kaavat 19 ja 20) ensimmäinen termi on taivutusjäykkyyden osuus, kun taas jälkimmäinen termi antaa leikkausvoiman osuuden (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995,26). Jonkinlaisena muistisääntönä voidaan pitää, että kun seinän korkeuden suhde seinän pituuteen jäykistävässä suunnassa on pienempi kuin 4, on virhe n. 5 % mikäli leikkausvoiman vaikutusta ei huomioida (BES-järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 43). Eli leikkausvoiman vaikutus tulee ottaa huomioon etenkin matalilla seinillä.

Koska jäykkyys taivutusmomentin osalta riippuu tarkastelutason korkeuden kolmannesta potenssista ja leikkausvoiman osalta jäykkyys on suoraan verrannollinen tarkastelutason korkeuteen, on mastoseinän ottamat suhteelliset osuudet kokonaisvaakakuormasta eri suuret eri tarkastelutasoilla. Tästä syystä olisi hyvä laskea kuormien jakautuminen vähintään rakennuksen ylä- ja alapäässä sekä mahdollisesti jollain välitasolla. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995,26).

Tarkasteltavan välipohjatasen kiertokeskiön siirtymät lasketaan kaavoilla 24 ja 25.

$$v_x = \frac{F_x}{\sum k_x} \quad (24)$$

$$v_y = \frac{F_y}{\sum k_y}, \quad (25)$$

jossa F_i on alaindeksin suuntainen voima. Rakennuksen kiertokeskiön paikka suhteessa vanhaan origoon lasketaan kaavoilla 26 ja 27. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995,28).

$$y' = \frac{\Sigma k_x * y}{\Sigma k_x} \quad (26)$$

$$x' = \frac{\Sigma k_y * x}{\Sigma k_y}, \quad (27)$$

jossa y on x-suuntaisen seinän poikkileikkauksen painopisteen y-koordinaatti, ja x on y-suuntaisen seinän poikkileikkauksen painopisteen x-koordinaatti. Ulkoisten kuormien resultantit aiheuttavat kiertokeskiön suhteen momenttia, joka lasketaan kaavalla 28.

$$M = F_y * \Delta_x - F_x * \Delta_y, \quad (28)$$

jossa Δ_y on x-suuntaisen ulkoisen kuorman resultantin momenttivarsi kiertokeskiöön nähden, ja Δ_x on y-suuntaisen ulkoisen kuorman resultantin momenttivarsi kiertokeskiöön nähden. Ulkoisista kuormista aiheutuva momentti aikaansaa välipohjatasolle kiertymän. Kiertymän suuruus lasketaan kaavalla 29. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 28).

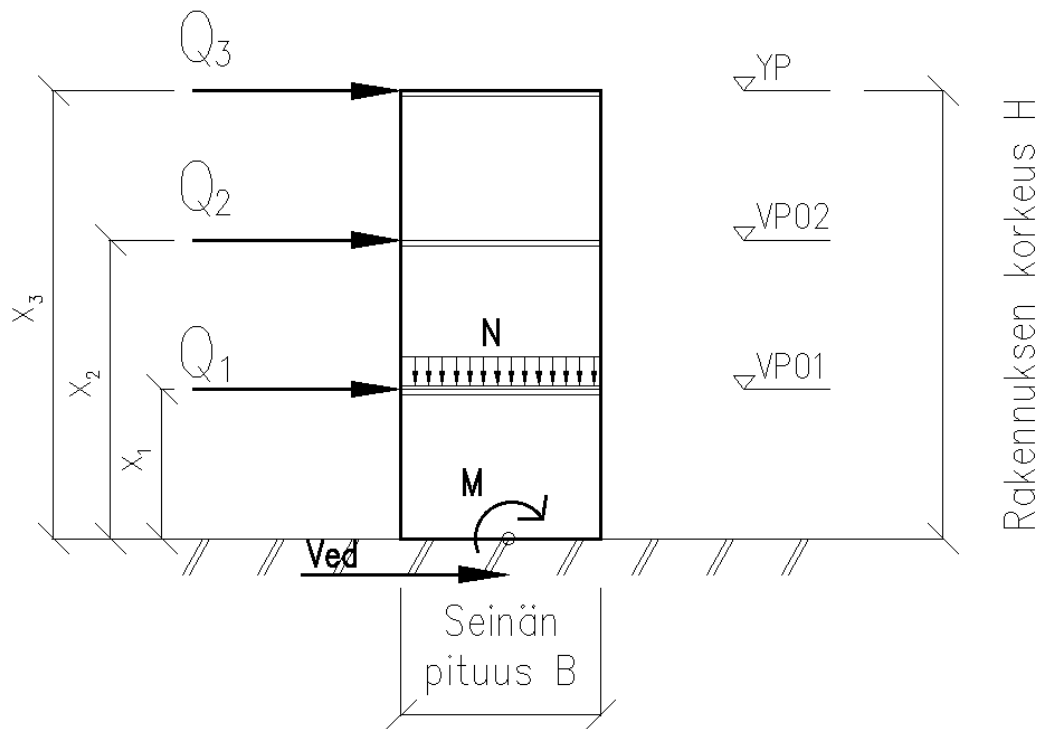
$$\varphi = \frac{M}{\Sigma k_x y^2 + \Sigma k_y x^2} \quad (29)$$

Kun välipohjan siirtymät ja kiertymä tunnetaan, saadaan osamastojen kuormitukset niiden jäykkyyksien ja siirtymien avulla kaavoilla 30 ja 31 (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995,28).

$$Q_x = k_x * v_x - k_x * y * \varphi \quad (30)$$

$$Q_y = k_y * v_y - k_y * x * \varphi \quad (31)$$

Laskettu kuorma vaikuttaa seinään tarkasteltavan korkeudelta välipohjatasolta (kuva 10). Kuormat aiheuttavat seinän juureen momenttirasitusta.

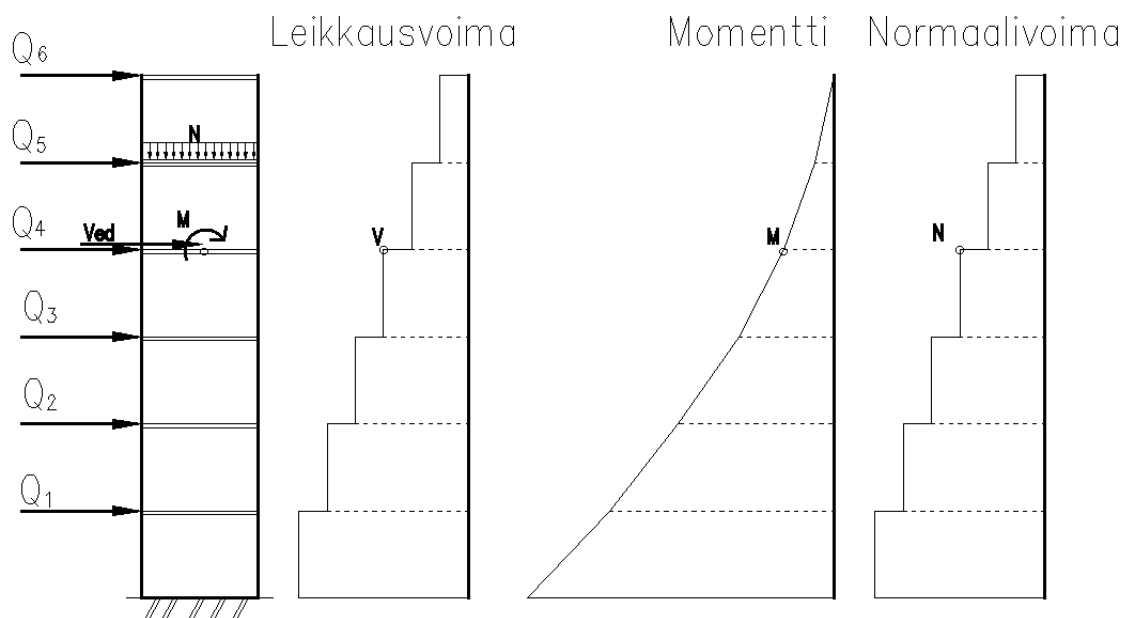


KUVA 10. Poikittaisvoimat tulevat ensimmäisen kerroksen seinälle ensimmäiseltä välipohjatasolta. Kuvassa tarkastellaan alinta kerrosta.

7 MASTOSEINÄN RASITUKSET JA MITOITUS

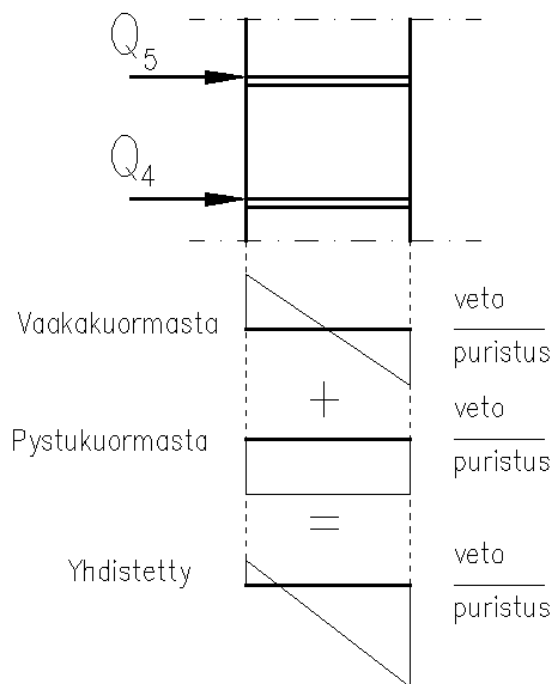
Seinät koostuvat lähes aina useammasta vierekkäisestä ja päällekkäisestä elementistä. Elementit ovat tavallisesti kerroksen korkuisia ja niiden maksimipituus on 8-9 metriä riippuen työmaan käytössä olevasta nostokalustosta. (Seinien mittasuositus 2010)

Elementtien liitokset on suunniteltava siten, että ne kykenevät välittämään niille tulevat kuormat viereisille ja alemmille elementeille aina perustuksiin saakka. Näin ollen elementeistä koostuva seinä toimii yhtenä kappaleena. Vaakavoimat aiheuttavat seinään momenttia normaalivoiman aiheuttaessa seinään puristusjännitystä (kuvat 11 ja 12). Jos momentin aiheuttama vetojännitys on pienempi kuin pystysuuntaisista kuormista aiheutuva puristusjännitys, eli rakenne pysyy koko poikkileikkaukseltaan puristettuna, ei elementtien vaakaliitoksia tarvitse mitoittaa vedolle. Mikäli momentin aiheuttama vetojännitys on suurempi kuin pystysuuntaisista kuormista aiheutuva puristusjännitys, täytyy seinä raudoittaa ja vaakaliitoksissa tulee käyttää esimerkiksi seinäkenkiä vetorasitusten ankkurointiin. (Leskelä 2008, 556). Puristetussa vaakasaumassa käytetään sidontapistetappeja välittämään sauman leikkausvoimaa.



KUVA 11. Ulokepalkkina toimivan mastoseinän rakennemalli ja periaatteelliset kuormituskuvajaajat palkkiteorian mukaan.

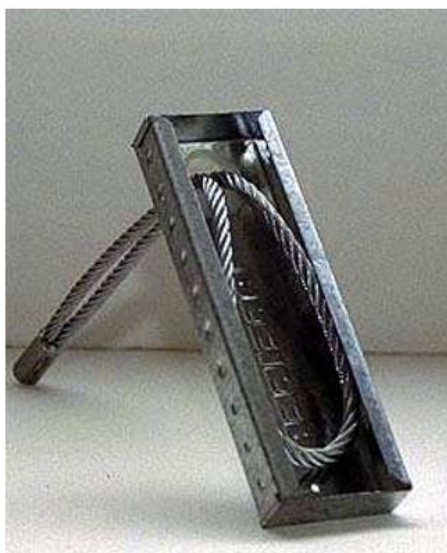
Seinäpoikkileikkauksen rasitukset



KUVA 12. Seinä- ja saumapoikkileikkauksen normaalivoimakuvaajan yhdistelyperiaate. Kuvassa poikkileikkaukseen syntyy vetoa, ja elementti on ankkuroitava alapuoliseen elementtiin. Rakennesuunnittelijan on huomioitava myös ankkurointi perustustasolla. Matalissa asuinkerrostaloissa ei yleensä tule vetojäännityksiä vaakasaumoihin.

Elementtien pystysaumoissa käytetään yleensä vaarnalengkkejä (kuva 13). Osa koostuu peltisestä kotelosta ja vaijerilenkistä. Kotelo muodostaa saumaan puristetun betoni-vaarnan, joka toimii pystysuuntaista leikkausvoimaa vastaan. Vaijerilenkit yhdessä saumaraudan kanssa välittävät leikkausvoiman vaakakomponentin elementiltä toiselle. Vaarnalengkisaumat on tarkoitettu vain leikkausrasitettuihin saumoihin. (VS-vaarnalengkkit, käyttö- ja suunnitteluohje 2013, 5).

Mikäli pystysaumaan tulee vetorasitusta, voidaan saumaraudoituksena käyttää esimerkiksi perinteisiä pyöröteräslengkkejä. Vetorasitusta saumaan saattaa tulla esimerkiksi porras- tai hissikuilujen elementtien nurkkaliitoksissa. (Leskelä 2008, 558)



KUVA 13. Vaarnalenkki (VS-vaarnalenkit, käyttö- ja suunnitteluohje 2013, 1)

7.1 Saumat

Luvussa 7.1 käydään pysty- ja vaakasauman laskenta lävitse. Laskenta tapahtuu elementtisuunnittelu.fi löytyvän asuinkerrostalon esimerkkilaskelmien mukaisesti.

7.1.1 Pystysaumot

Kimmoteorian mukaan laskettaessa saumassa vaikuttava leikkausjännitys (kuva 14) voidaan laskea kaavasta 32. Pystysauman toimintaperiaate on kuvattu kuvan 13. Leikkausjännitys saa maksimiarvonsa poikkileikkauksen neutraaliakselin tasolla. Leikkausjännitys vaikuttaa aina poikkileikkauksen pääjäyhyysuunnissa molempiin suuntiin.

$$\tau = \frac{Q * S}{I * b}, \quad (32)$$

jossa τ on leikkausjännitys

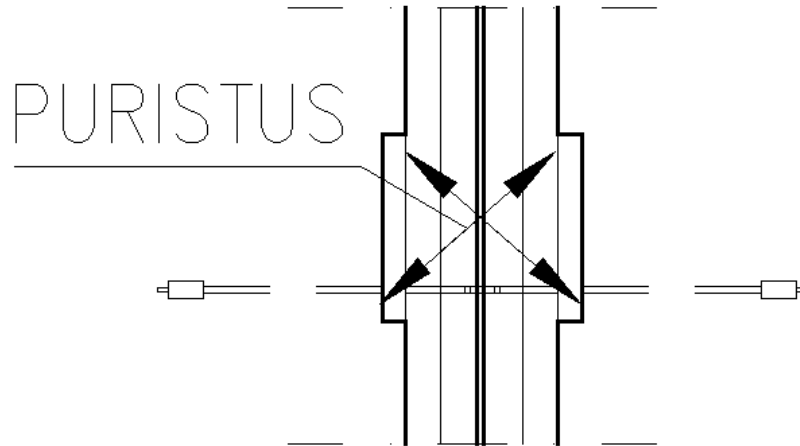
Q on saumassa vaikuttava leikkausvoima (kuva 10)

S on poikkileikkauksen staattinen momentti neutraaliakselinsa suhteen laskettuna

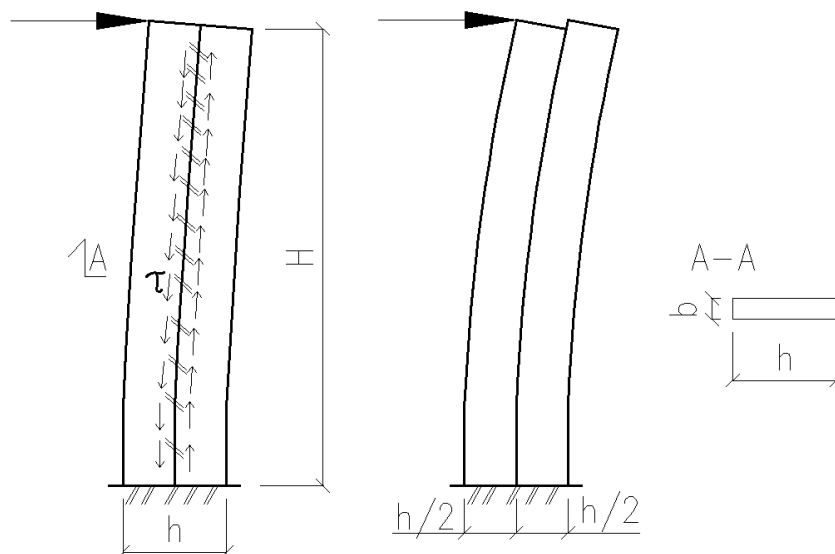
I on poikkileikkauksen jäyhyysmomentti, suorakaidepoikkileikkauksella lasketaan kaavalla 33.

$$I = \frac{b * h^3}{12}, \quad (33)$$

jossa b on poikkileikkauksen paksuus ja h on poikkileikkauksen korkeus



KUVA 13. Betonielementtien pystysauman toimintaperiaate. Vaarnalengkien on oltava kohdakkain ja samoin päin, jotta saumaan muodostuu betonista puristettu sauva, joka ottaa pystysuuntaista leikkausvoimaa vastaan. Vaijerilenkit välittävät vetorasituksena leikkausvoiman vaakakomponentin elementiltä toiselle. Vaijerilenkit ankkuroituvat puristeholkkien avulla elementteihin. (Vaijerilenkkiohje 2012)



KUVA 14. Leikkausjännitys τ merkitty vasemmanpuoleiseen kuvaan ohuilla nuolilla. Kun sauma välittää leikkausvoimaa, kappaleen jäykkyys moninkertaistuu verrattuna oi-

keanpuoleiseen kuvaan. Leikkausjännitys on neutraaliakselin kohdalla suurimmillaan, joten lujuusopillisessa mielessä suorakaiteen muotoisen seinän keskellä on epäedullisin paikka pystysaumalle.

Vaarnalengkien valmistajat ilmoittavat käyttöselosteissa tuotteidensa kapasiteetit kullekin vaarnalengkijaolle. Käytettäessä valmistajien ilmoittamia kapasiteetteja on sauman oltava valmistajan käyttöselosteessa ilmoittamien ehtojen mukainen. Kapasiteetit ilmoitetaan yleensä yksikössä kN/m. Kun leikkausjännitys τ kerrotaan poikkileikkauksen leveydellä sekä 1 metrillä, saadaan saumassa vaikuttava leikkausvoima.

7.1.2 Vaakasaumat

Laatta- ja seinäelementtien välisten betonisaumojen leikkauskestävyys lasketaan SFS-EN1992-1-1 kohdan 6.2.5 Leikkaus eri aikaan valettujen betonien rajapinnassa mukaan. Leikkauskestävyyden mitoitusavo V_{Rdi} lasketaan yhtälöllä 34.

$$V_{Rdi} = c * f_{ctd} + \mu * \sigma_n + \rho * f_{yd} * (\mu * \sin\alpha + \cos\alpha) \leq 0,5 * v * f_{cd} \quad (34)$$

c on rajapinnan karheudesta riippuva kerroin

μ on kitkakerroin

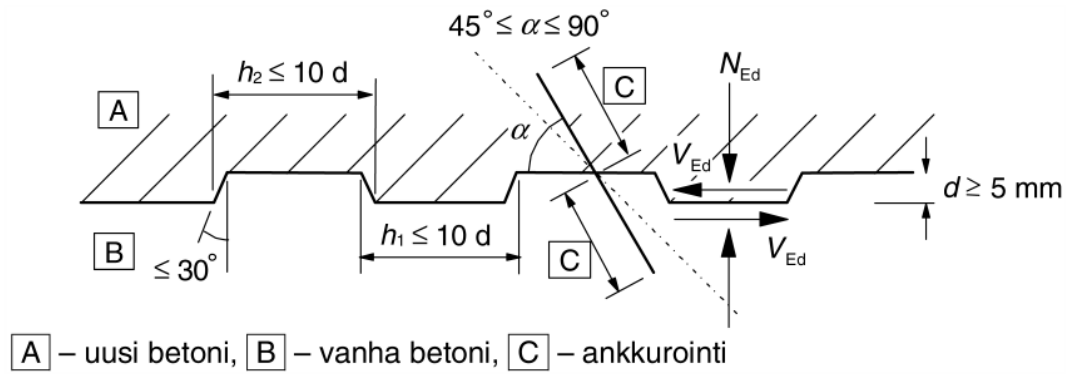
f_{ctd} on betonin vetolujuuden mitoitusarvo

σ_n on rajapintaan kohdistuva ulkoisesta normaalivoimasta aiheutuva pienin mahdollinen normaalijännitys, puristus positiivisena $\sigma_n < 0,6 * f_{cd}$

$\rho = A_s / A_i$, eli sauman poikkileikkauksen raudoitettun alan osuus koko sauman poikkileikkauksen alaan

α määritetään kuvassa 15, rajoitetaan välille $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ (vaarnojen kulma saumaan nähden).

$$v = 0,6 * \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$



KUVA 15. Vaarnatun työsauman merkintöjä (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC, 92)

Mikäli elementtien vaakasaumaan syntyy vetojännitystä, täytyy ylempi seinäelementti ankkuroida alempaan seinäelementtiin. Ankkurointeihin on valmistajilla valmiita teräsosia, joiden kestävyys he ilmoittavat mm. tuotetta koskevassa työselosteessa. Lisäksi on huomioitava vetorasituksen ankkurointi perustustasossa maaperään. Vetorasituksen ankkurointi maaperään on rajattu tästä opinnäytetyöstä.

8 POHDINTA

Opinnäytetyö koostui kahdesta osiosta. Ensimmäisen osion, kirjallisen raportin, tavoitteena oli johdattaa työn lukija kerrostalon vakavuuslaskuihin. Toinen osio, työn pääasiallinen tavoite, oli laatia tilaajayrityksen käyttöön Excel-pohjaiset mitoitusohjelmat. Näen, että kumpaankin tavoitteeseen päästiin. Työn alussa asetettujen tavoitteiden lisäksi tehtiin tuulikuorman määrittämisestä Excel-laskentapohja.

Kokonaisuudessaan tämä työ palveli tilaajayrityksen lisäksi myös työn tekijää. Tilaajayritykselle tuotettiin opinnäytetyön aikana laskentapohjat, ja työn tekijänä perehdyin vakavuuslaskelmien teoriaan sekä kehitin omaa ammattitaitoani. Näen, että tutkimusmenetelmän valinta oli onnistunut, sillä etenkin tilaajayrityksen kokeneempien rakennesuunnittelijoiden kanssa käydyt keskustelut auttoivat työn tekemisessä.

Työtä tehdessä huomasin kuitenkin, että laskentapohjia voisi vielä kehittää monessakin mielessä. Sekä käytettävyyttä, että laskentaa itsessään. Kuormien jakautumisen laskentapohjassa ei tällä hetkellä huomioda jäykistävässä pystyrakenteissa olevia aukkoja, joten jäykistäviksi seiniksi on laskettava vain umpiseinät. Lisäksi tällä hetkellä laskentapohja laskee vain suorakaiteen muotoisten poikkileikkausten jäyhyydet. Esimerkiksi hissikuilujen on laskelmissa ajateltava koostuvan useasta eri suuntaisesta seinästä, vaikka todellisuudessa hissikuilun seinät muodostavat yhtenäisen maston, jonka vääntöjäykkyys on suurempi kuin erisuuntaisten seinien yhteenlaskettu jäykkyys.

Mielenkiintoisin osuus opinnäytetyössä oli mielestäni liitosten mitoittaminen. Työn aikana valkeni, mistä kuormat liitoksille tulevat. Lujuusopillinen tieto oli ennen työn tekemistäkin itselläni, mutta se, miten rasitukset kulkevat rakennusrungossa, selkeni työtä tehdessä. Esimerkiksi aikaisemmin ajattelin pystysaumojen kestävyys koostuvan nimienomaan vaijerilenkistä, eikä ollut täysin selvää vaarnojen vaikutus. Ne muodostavat saumaan vinon puristusvyöhykkeen jolla otetaan vastaan pystysuuntainen leikkausjännitys. Vaijerilenkit siirtävät leikkausvoiman vaakakomponentin vetorasituksena elementiltä toiselle. Vetorasitus ankkuroituu vaijerilenkin päässä olevan holkin avulla elementtiin.

Eurokoodi on ajoittain liitosten mitoituksessa mielestäni hieman epäselvä. Etenkin vaakasauman mitoitus on kerrottu hieman epäselvästi. Eurokoodissa on maininta, että laatta- ja seinäosien välisten liitosten leikkauskestävyys lasketaan kohdan 6.2.5 Leikkaus eri aikaan valettujen betonien rajapinnassa mukaan (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC, 92). Viitatussa kohdassa on myös lauseke rajapinnassa vaikuttavan leikkausjännityksen mitoitusarvon laskentaan. Käsitin kuitenkin niin, että vaakasaumojen mitoituksessa ei huomioida kyseistä rajapinnassa vaikuttavan leikkausjännityksen lauseketta, sillä aikaisemmin on maininta vain leikkauskestävyyden laskemisesta. Eurokoodia on mielestäni luettava ajatuksella, sillä jotkin asiat on kerrottu hyvin teoreettisesti.

Elementtien vaakasaumoissa liitoksen kestävyys tavallisesti syntyy terästen vaarnavaikutuksen ja elementtien välisen kitkan avulla. Kitkalla siirrettäessä voimia betoni vasten betonia kitkakerroin on vanhan Runko-BES:n mukaan 0,9, ja laskelmissa käytetty sallittu kitkakerroin on 0,27 (BES-järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 37). Eurokoodissa kitkakertoimenä käytetään 0,5.

Kun kerrostalon jäykistystä tarkastellaan taulukkolaskennan avulla, ei rakenneosia ole mielestäni järkevää mitoittaa lähelle täyttä käyttöastetta siinä tehtävien yksinkertaistusten vuoksi. Esitellyllä tavalla voidaan kuitenkin varmistaa matalan asuinkerrostalon jäykistykseen toimivuus riittävällä tarkkuudella. Täytyy huomioida, että kuormien jakautumiseen vaikuttaa rakenteiden todellinen jäykkyys, eikä seinät useinkaan ole täysin irrallaan toisistaan, eikä välipohjataso ole aina täysin jäykkä. Vastaavasti taas, mikäli saumat eivät ole asianmukaisesti tehty ja saumat pääsevät halkeilemaan, rakenteiden jäykkyys ja kuormien jakautuminen muuttuu. Vanhassa BES-järjestelmän rakenteita koskevassa suosituksessa todetaan, että aikaisemmin käytetyillä lenkkiliitoksilla raudoitetut saumat voivat pienentää seinän jäykkyyttä n. 30 %, ja keskitetysti vain välipohjien kohdalla raudoitetut saumat n. 40 % (BES-järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 43).

Saumojen kapasiteettien kannalta on tärkeää, että liitokset toteutetaan suunnitellusti. Pystysaumoissa tulisi pystyterästen mennä vaijerilenkkien lävitse, ja vaarnakoteloiden tulisi olla samoten päin samalla korkeudella, jotta saumaan pääsee muodostumaan suunnitellun kaltainen vaarna.

Työn lopuksi liitteissä on käyty kuvitteellisen kohteen jäykistelaskuja lävitse vain yhdessä kuormitusyhdistelmässä. Liitteen laskelmat on tarkoituksen mukaisesti tehty epäedulliselle jäykistysjärjestelmälle, sillä sen kautta voidaan havainnollistaa, että myös melko matalien asuinkerrostalojen jäykistys on suunniteltava. Itselleni vahvistui tämän työn ja esimerkkilaskelmien kautta se, että asuinkerrostalon jäykistäminen saadaan hoidettua pitkälti seinien järkevällä sijoittelulla. Tyypillisesti asuinkerrostalossa väliseiniä on suhteellisen paljon, ja tästä syystä niiden yhteenlaskettu jäykkyys on suuri.

Laskuja ei otettu mukaan kirjalliseen osioon, sillä mielestäni on selkeämpää käsitellä kirjallisessa osiossa vain teoria, jonka mukaan Excel-pohjat on tehty. Laskentapohjien tuloksia on vertailtu esimerkiksi Valmisosarakentaminen II -kirjasta löytyviin tuloksiin virheiden vähentämiseksi

LÄHTEET

- Betoniteollisuus ry. 2010. Jäykistysjärjestelmät. Julkaistu 15.2.2010. Luettu 10.3.2018. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat>
- Betoniteollisuus ry. 2010. Seinien mittasuositus. Luettu 10.3.2018. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/seinat/seinien-mittasuositus>
- Betoniteollisuus ry. 2010. Suunnitteluperusteet. Luettu 10.3.2018. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/suunnitteluperusteet>
- Betoniteollisuus ry. 2012. Vaijerilenkit. Luettu 20.4.2018. [pdf] [www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23853/Vaijerilenkkiohje%20\(1\).pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23853/Vaijerilenkkiohje%20(1).pdf)
- Jääskeläinen, R. 2011. Geotekniikan perusteet. 3. painos. Tampere: Tammertekniikka.
- Kulmala, H. 2015. Pohjarakennuskurssin oppimateriaali, [pdf]. Luettu 3.4.2018. Tallennettu
- Leskelä, M. 2008. by210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008 1.painos. Helsinki: Suomen betonitieto Oy
- RIL201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry
- RTT Rakennustuoteteollisuus ry. 1995. Valmisosarakentaminen II. 1 painos. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy
- Semtu 2013. VS-Vaarnalenkit, käyttö- ja suunnitteluohje, käyttöseloste nro BY390. [pdf] 14.6.2013 Luettu 14.4.2018 https://www.semtu.fi/files/3913/8363/3295/VS-K-ohje_14062013.pdf
- SFS-EN 1991-1-3+AC+A1. 2015. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Luettu 22.2.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi.elib.tamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/414268.html.stx>
- SFS-EN 1991-1-4. 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4 Yleiset kuormat, Tuulikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Luettu 27.2.2018. Vaatii käyttöoikeuden <https://online.sfs.fi.elib.tamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/159445.html.stx>
- SFS-EN 1992-1-1+A1+AC. 2004. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Luettu 5.3.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/377991.html.stx>
- SFS-EN 1997-1+A1+AC. 2014. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Luettu 9.4.2018. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi.elib.tamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/385621.html.stx>

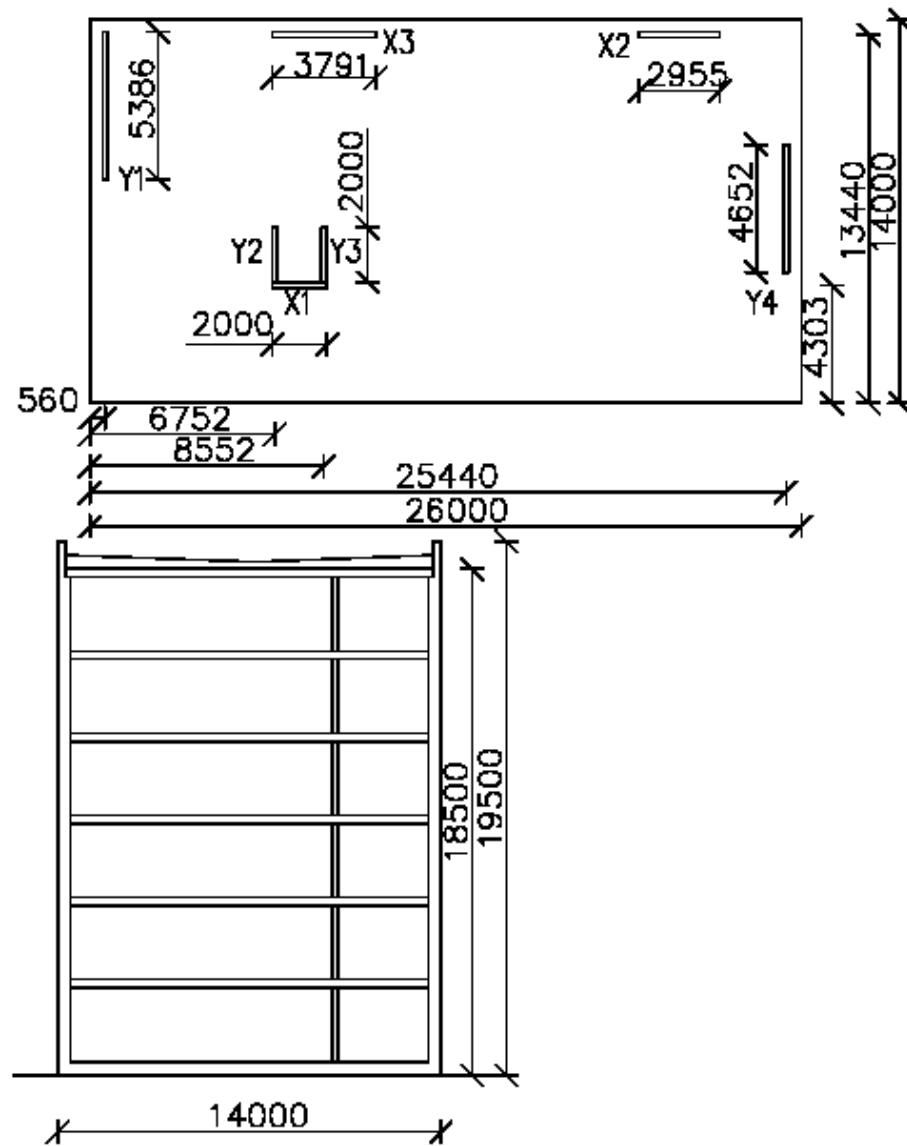
Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö. 1979. BES-järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979. [pdf] Luettu 14.4.2018. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/val-misosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia#>

Ympäristöministeriö 2016. Rakenteiden lujuus ja vakaus [pdf]. 20.12.2016. Luettu 10.3.2018 http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus

LIITTEET

Liite 1. Esimerkkikohteen lähtötiedot

Esimerkkilaskut



Lähtötiedot:

Rakennus sijaitsee tasaisella maastolla, maastoluokka II

Lumikuorma maassa $S_k = 2,5 \text{ kN/m}$

Välipohjarakenne O37

Jäykistys mastoseinillä

Kerroskorkeus 3000mm

Liite 2. Lisävaakavoimien määrittäminen

1(2)

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:		Opinnäytetyö		Sivu 1	
						Esimerkkilasku			
				TYÖNUMERO:				V1.0	
Rakennelaskelma		Suunnittelija:		MRI	Tarkastaja:	-	PVM:	18.4.2018	
Lisävaakavoimien laskenta EN 1992-1-1 + A1+AC mukaan.									
Kuormien laskenta yhdelle kerrokselle:									
Laskettava kerros:						1			
Kerrosten lukumäärä:				n		6		kpl	
Yhden kerroksen pinta-ala:				A1		364		m ²	
Kerroskorkeus:				hk		3		m	
Rakennuksen korkeus:				H		19,5		m	
Välipohjamateriaalin omapaino				g_{k1}		5,1		kN/m ²	
Yläpohjarakenteen omapaino				g_{k2}		6,5		kN/m ²	
Runkomateriaalin omapaino:				g_{k3}		25		kN/m ³	
Kokonaiskuormat:									
Yläpohja:									
Omapaino									
$g_{k,yläpohja}$						$=g_{k2} * A_1 =$		2366 kN	
Lumikuorma:				Kuorma katolla:		kN/m ²			
$q_{k,lumi}$				2		$q_{k,katollalumi}=q_{k,lumi} * A_1 =$		728 kN	
Kerros:									
Välipohja:									
$g_{k,välipohja}$						$=g_{k1} * A_1$		1856,4	
Väliseinät:									
		Seinän paksuus [m]		Määrä [m]		Kuorma:			
$g_{k,vs1}$		0,2		30		450		kN	
$g_{k,vs2}$		0,18		0		0		kN	
$g_{k,vs3}$		0,15		10		112,5		kN	
Ulkoseinät:									
		Rakenteen paksuus [m]:							
US 1		Sisäkuori		0,16		m			
		Ulkokuori		0,08		m			
		Eriste		0,2		m			
		Eristeen tiheys:		0,65		kN/m ³			
		Määrä [m]		80		m		$\sum g_{k,us1}$ 1471,2 kN	
		Rakenteen paksuus [m]:							
US 2		Sisäkuori		0		m			
		Ulkokuori		0		m			
		Eriste		0		m			
		Eristeen tiheys:		0		kN/m ³			
		Määrä [m]		0		m		$\sum g_{k,us2}$ 0 kN	
				$\sum g_{k,kerros} = g_{k,vs1} + g_{k,vs2} + g_{k,vs3} + g_{k,us1} + g_{k,us2} + g_{k,välipohja}$		$\sum g_{k,kerros}$		3890 kN	
Hyötykuormat:									
		Kuorma [kN/m ²]:							
$q_{k,hyöty}$		2				$q_{k,hyöty} * A_1 =$		728 kN	
$q_{k,kevyet väliseinät}$		0,5				$q_{k,kevyet väliseinät} * A_1 =$		182 kN	
						$\sum q_k$		910 kN	

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy		KOHDE:		Opinnäytetyö		Sivu 2	
				Esimerkkilasku			
		TYÖNUMERO:					
Rakennelaskelma	Suunnittelija:	MRI	Tarkastaja:	-	PVM:	18.4.2018	

Lisävaavakoimien laskenta:

$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$

α_h on pituuteen tai korkeuteen perustuva pienennyskerroin $\alpha_h = 2/\sqrt{l}; 2/3 \leq \alpha_h \leq 1$

α_m on rakenneosien määrään perustuva pienennyskerroin $\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + 1/m)}$

l on pituus tai korkeus [m], ks. kohtaa (6)

m on kokonaisvaikutuksen aiheuttavien pystyrakenneosien määrä.

HUOM. Kussakin maassa käytettävä vinouden perusarvo θ_0 voidaan esittää kansallisessa liitteessä. Suositusarvo on 1/200.

θ_0	1/200
α_h	0,45 $2/3 < \alpha_h < 1$
$\alpha_h \rightarrow$	0,67
α_m	0,76
θ_1	1/393

Lisävaakavoimien suuruudet:

Lisävaakavoima yläpohjan tasolla:

$F_{qk,lumi}$	1,85	kN	$F_{qk,lumi} = q_{k,lumi} \cdot A_1 \cdot \theta_1$
$F_{gk,yp}$	6,02	kN	$F_{gk,yp} = g_{k2} \cdot A_1 \cdot \theta_1$

Lisävaakavoima / 1 kerros

$F_{qk,hyöty}$	2,32	kN	$F_{qk,hyöty} = \sum q_k \cdot \theta_1$
$F_{gk,op}$	9,90	kN	$F_{gk,op} = \sum g_{k,kerros} \cdot \theta_1$

Kuormitusyhdistely, määräävä muuttuva kuorma tuuli:

Yläpohja:

F_d	8,9	kN
-------	-----	----

Kerros:

F_d	13,8	kN
-------	------	----

Kuormitusyhdistely, määräävä muuttuva kuorma hyöty ja lumi (eri kerroksissa):

Yläpohja:

F_d	9,7	kN
-------	-----	----

Kerros:

F_d	14,9	kN
-------	------	----

Rakenteen vinous θ_1 huomioidaan laskennassa lisävaakavoimilla.

Liite 3. Tuulikuorman määrittäminen pintapaineiden avulla

1(4)

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:		Opinnäytetyö		Sivu 1	
						Esimerkkilasku			
				TYÖNUMERO:				V1.0	
Rakennelaskelma		Suunnittelija:		MRI	Tarkastaja:	-	PVM:	18.4.2018	
<p>Rakennuksen kokonaistuulikuorman määrittäminen pintapaineiden avulla.</p> <p>RIL 201-1-2017 Osa 1.4</p> <p>SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1</p>									
<p>Rakennuksen kokonaistuulivoiman määrittäminen pintapaineiden avulla.</p> <p>$F_w = \gamma_e * F_{w,e} + F_{wi} + F_{fr}$</p> <p>$\gamma_e$ = Kerroin, joka huomioi, että rakennuksen etu ja takapuolella esiintyvät paine ja imuvoimien huippuarvot eivät esiinny samaan aikaan</p> <p>Ulkopuolinen kuorma</p> <p>$F_{we} = C_s C_d * \sum w_e * A_{ref}$</p> <p>$C_s C_d$ = rakennekerroin</p> <p>$w_e = q_p(z) * c_{pe}$ = yksittäiseen pintaan korkeudella z_e vaikuttava ulkopuolinen paine</p> <p>A_{ref} = yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala</p> <p>Kitkavoima</p> <p>$F_{fr} = c_{fr} * q_p(z) * A_{fr}$</p> <p>$c_{fr}$ = kitkakerroin</p> <p>A_{fr} = kitkakuorman vaikutusalue</p> <p>Tuulesta syntyvät kitkan vaikutukset voidaan jättää huomiotta, kun tuulen suuntaisten pintojen kokonaisala on max 4*kaikkien tuulta vastaan kohtisuorien ulkopintojen kokonaisala.</p> <p>Sisäpuolinen kuorma</p> <p>Tässä laskelmassa oletetaan rakennuksen vaipan olevan tiivis, eikä huomioida sisäpuolista tuulikuormaa.</p>									

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:		Opinnäytetyö		Sivu 2																					
				Esimerkkilasku																									
				TYÖNUMERO:		0																							
Rakennelaskelma		Suunnittelija:		MRI	Tarkastaja:	-	PVM:	18.4.2018																					
<p style="text-align: center;">Tuulikuorman määrittäminen:</p> <table border="1"> <tr> <td>Pidemmän sivun leveys</td> <td>26</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Lyhyemmän sivun leveys</td> <td>14</td> <td>Y</td> </tr> <tr> <td>Korkeus</td> <td>19,5</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Kerrostien määrä:</td> <td>6</td> <td></td> </tr> </table> <p>Huom! Laskuri tasakattoisille rakennuksille.</p> <table border="1"> <tr> <td>Maastoluokka</td> <td>II</td> </tr> <tr> <td>Puuskanopeuspaine:</td> <td>0,77 kN/m²</td> </tr> <tr> <td>Rakennekerroin CsCd</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Kitkakerroin Ctr</td> <td>0</td> </tr> </table>										Pidemmän sivun leveys	26	X	Lyhyemmän sivun leveys	14	Y	Korkeus	19,5	H	Kerrostien määrä:	6		Maastoluokka	II	Puuskanopeuspaine:	0,77 kN/m ²	Rakennekerroin CsCd	1	Kitkakerroin Ctr	0
Pidemmän sivun leveys	26	X																											
Lyhyemmän sivun leveys	14	Y																											
Korkeus	19,5	H																											
Kerrostien määrä:	6																												
Maastoluokka	II																												
Puuskanopeuspaine:	0,77 kN/m ²																												
Rakennekerroin CsCd	1																												
Kitkakerroin Ctr	0																												
<p>Taulukko 7.10 Kitkakerroin c_r seinille, kateille ja kattopinnoille</p> <table border="1"> <tr> <td>Pinta</td> <td>Kitkakerroin c_r</td> </tr> <tr> <td>Sileä (eli teräs, sileä betoni)</td> <td>0,01</td> </tr> <tr> <td>Karhea (eli karhea betoni, bitumihuopa)</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td>hyvin karhea (eli aalto-, ripa- tai poimuprofilointi)</td> <td>0,04</td> </tr> </table>										Pinta	Kitkakerroin c_r	Sileä (eli teräs, sileä betoni)	0,01	Karhea (eli karhea betoni, bitumihuopa)	0,02	hyvin karhea (eli aalto-, ripa- tai poimuprofilointi)	0,04												
Pinta	Kitkakerroin c_r																												
Sileä (eli teräs, sileä betoni)	0,01																												
Karhea (eli karhea betoni, bitumihuopa)	0,02																												
hyvin karhea (eli aalto-, ripa- tai poimuprofilointi)	0,04																												
<p>SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1</p> <p>Kohta 6.2</p> <p>"Rakennuksille, joiden rungossa on kantavat seinät ja joiden korkeus on alle 100m ja samalla pienempi kuin 4 kertaa rakennuksen tuulensuuntainen mitta, cscd voidaan käyttää arvoa 1"</p>																													

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:		Opinnäytetyö		Sivu 3	
						Esimerkkilasku			
				TYÖNUMERO:		0			
Rakennelaskelma		Suunnittelija:		MRI		Tarkastaja:		- PVM: 18.4.2018	

Kokonaistuulivoima pitkälle sivulle, vastaus:

$F_{wk,x} = 387 \text{ kN}$

(Fctr= 0 kN)		Kitkakuorman osuus	
Painekertoimet:		Alueiden mitat:	
A	-1,2	A	3,9 m
B	-0,8	B	10,1 m
C	-0,5	C	0 m
D	0,80	D	26 m
E	-0,339	E	26 m

Vyöhykkeiden tuulikuormat:		
A	-70 kN	IMUA
B	-121 kN	IMUA
C	0 kN	TYÖNTÖÄ
D	312 kN	TYÖNTÖÄ
E	-132 kN	IMUA

Yhden kerroksen osuus:

$F_{wk,x,ker} = 55,301 \text{ kN}$

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:		Opinnäytetyö		Sivu 4	
						Esimerkkilasku			
				TYÖNUMERO:		0			
Rakennelaskelma		Suunnittelija:		MRI	Tarkastaja:	-	PVM:	18.4.2018	

Kokonaistuulivoima lyhyelle sivulle, vastaus:

$F_{wk,y} = 190,6 \text{ kN}$

$F_{wk,y}$

(Fctr= 0 kN) Kitkakuorman osuus

Painekertoimet:		Alueiden mitat	
A	-1,2	A	3,9 m
B	-0,8	B	15,6 m
C	-0,5	C	6,5 m
D	0,77	D	14 m
E	-0,3	E	14 m

Vyöhykkeiden tuulikuormat

A	-70 kN	IMUA
B	-187 kN	IMUA
C	-49 kN	IMUA
D	161 kN	TYÖNTÖÄ
E	-63 kN	IMUA

Yhden kerroksen osuus:
Fwker= 27,228 kN

SIWUPIIRROS, KUN $e < d$

SIWUPIIRROS, KUN $e \geq d$

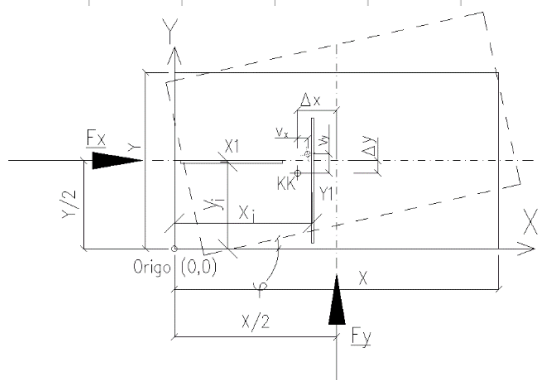
SIWUPIIRROS, KUN $e > 5d$

Liite 5. Kuormien jako jäykistäville seinille

1(4)

TSO RAKENNESUUNNITTELU OY		KOHDE:		Opinnäytetyö		Sivu 1	
				Esimerkkilasku			
		TYÖNUMERO:					
Rakennelaskelma	Suunnittelija:	MRI	Tarkastaja:	-	PVM:	18.4.2018	
Rakennusrungon jäykistäminen mastoseinillä							
Laskelmat Betoniteollisuus Ry:n mukaan							
Kuormat jakautuvat jäykistäville seinille niiden jäykkyyksien suhteen.							
Laskelmassa tarkistettu tapaus, jossa jäykistävien seinien vääntökeskiöt sijaitsevat poikkileikkauksen painopisteissä, ja jäykistävät rakenneosat saavat pääakseleidensa suuntaisista kuormituksista vain kyseisen kuormituksen suuntaisia siirtymiä.							
Mielivaltaisessa suunnassa vaikuttava voima voidaan aina jakaa pääakselien suuntaisiin komponentteihin.							
<p>Mikäli jäykistävät rakenneosat eivät ole symmetrisesti sijoitettu, rakennuksen välipohjatasot saavat siirtymät v_x ja v_y sekä kiertymän φ</p> <p>KK = kiertokeskiö Δy ja Δx = ulkoisten kuormien resultanttien momenttivarsi $X1$ = 1.X- kordinaatin suuntainen seinä $Y1$ = 1.Y- kordinaatin suuntainen seinä x_i = Y-suuntaisen seinän poikkileikkauksen painopisteen X kordinaatti y_i = X-suuntaisen seinän poikkileikkauksen painopisteen Y kordinaatti b = seinän paksuus h = seinän korkeus, voidaan tutkia kerroksittain tai koko rakennuksen korkeusena F_y = Y-suuntainen kuorma F_x = X-suuntainen kuorma</p>							

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:	Opinnäytetyö			Sivu 2
					Esimerkkilasku			
				TYÖNUMERO:	0			
Rakennelaskelma	Suunnittelija:	MRI	Tarkastaja:	-	PVM:	18.4.2018		
Poikkileikkauksen jäykkyys:								
$k_x = \frac{1}{\frac{H^3}{3 * E * I_y} + K_x * \frac{H}{G * A}}$								
$k_y = \frac{1}{\frac{H^3}{3 * E * I_x} + K_y * \frac{H}{G * A}}$								
Välipohjatasen siirtymät:								
$v_x = \frac{F_x}{\sum k_x} \quad v_y = \frac{F_y}{\sum k_y}$								
Rakennuksen vääntökeskiö:								
$y' = \frac{\sum k_x * y}{\sum k_x} \quad x' = \frac{\sum k_y * x}{\sum k_y}$								
Kiertokeskiön suhteen momentti:								
$M = F_y * S_y - F_x * S_x$								
Välipohjatasen kiertymä:								
$\varphi = \frac{M}{\sum k_y * x'^2 + \sum k_x * y'^2}$								
Lähtötiedot:								
Rakennuksen mitat								
Leveys X-suunnassa		26 [m]						
Leveys Y-suunnassa		14 [m]						
Korkeus:		19,5 [m]						
Kuormitus:		$\sum F_y = F_{w,d,x} + F_{d,lisä}$						
		$\sum F_x = F_{w,d,y} + F_{d,lisä}$						
		Fy 670,2 kN						
		Fx 376,2 kN						
Kuorman alaindeksi kertoo, minkä akselin suuntainen kuorma on!								
Huom! Maksimi tuuli X- ja Y-suuntaan eivät vaikuta samaan aikaan.								



TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy					KOHDE:		Opinnäytetyö				Sivu 3
					Esimerkkilasku						
					TYÖNUMERO:		0				
Rakennelaskelma			Suunnittelija:		MRI	Tarkastaja:		-	PVM:	18.4.2018	
Jäykistävät seinät											
X-Suunnassa											
	Seinä	Y(m)	b[m]	L[m]	h [m]	E[Mpa]	k _{Xi}	Etäisyys VK:stä	F _{Xi}		
	X1	4,303	0,2	2	18,5	30000	2	-8,30	35	kN	
	X2	13,44	0,2	2,955	18,5	30000	6	0,84	111	kN	
	X3	13,44	0,2	3,791	18,5	30000	13	0,84	231	kN	
	X4						0	0,00	0		
	X5						0	0,00	0		
	X6						0	0,00	0		
	X7						0	0,00	0		
	X8						0	0,00	0		
	X9						0	0,00	0		
	X10						0	0,00	0		
	X11						0	0,00	0		
	X12						0	0,00	0		
	X13						0	0,00	0		
	X14						0	0,00	0		
	X15						0	0,00	0		
	X16						0	0,00	0		
	X17						0	0,00	0		
	X18						0	0,00	0		
	X19						0	0,00	0		
	X20						0	0,00	0		
						Σkxi	20		ΣFxi	376,2 kN	
Y-Suunnassa											
	Seinä	X(m)	b[m]	L[m]	h [m]	E[Mpa]	ky _i	Etäisyys VK:stä	F _{Yi}		
	Y1	0,560	0,2	5,386	18,5	30000	35	-9,67	380	kN	
	Y2	6,752	0,2	2	18,5	30000	2	-3,48	20	kN	
	Y3	8,552	0,2	2	18,5	30000	2	-1,68	20	kN	
	Y4	25,44	0,2	4,652	18,5	30000	23	15,21	249	kN	
	Y5						0	0,00	0		
	Y6						0	0,00	0		
	Y7						0	0,00	0		
	Y8						0	0,00	0		
	Y9						0	0,00	0		
	Y10						0	0,00	0		
	Y11						0	0,00	0		
	Y12						0	0,00	0		
	Y13						0	0,00	0		
	Y14						0	0,00	0		
	Y15						0	0,00	0		
	Y16						0	0,00	0		
	Y17						0	0,00	0		
	Y18						0	0,00	0		
	Y19						0	0,00	0		
	Y20						0	0,00	0		
						Σkyi	61		ΣFyi	670,2 kN	

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:	Opinnäytetyö			Sivu 4
					Esimerkkilasku			
				TYÖNUMERO:	0			
Rakennelaskelma	Suunnittelija:	MRI	Tarkastaja:	-	PVM:	18.4.2018		

Laskennan välivaiheet

Välipohjatasen siirtymät:

$$v_x = \frac{F_x}{\sum k_x}$$

$v_x = 18,43$ mm

$$v_y = \frac{F_y}{\sum k_y}$$

$v_y = 10,91$ mm

Kiertokeskiön koordinaatit:

$$y' = \frac{\sum k_x * y}{\sum k_x} \quad \mathbf{12,60 \text{ m}}$$

$$x' = \frac{\sum k_y * x}{\sum k_y} \quad \mathbf{10,23 \text{ m}}$$

Kiertokeskiön suhteen momentti:

$$M = F_y * \Delta_x - F_x * \Delta_y$$

$\Delta y = -5,60$ m

$\Delta x = 2,77$ m

$M = 3963$ kNm

Välipohjatasen kiertymä:

$$\varphi = \frac{M}{\sum k_y * x'^2 + \sum k_x * y'^2}$$

$\varphi = 0,0004550$

Voima F_{xi} ja F_{yi} tulevat seinälle jäykkinä tasoina toimivilta vaakarakenteilta esim. välipohjatasolta

Liite 6. Tarkasteltavan seinän pystykuormat

TSO RAKENNESUUNNITTELU OY										PÄIVÄMÄÄRÄ:		18.4.2018		Murtorajatila		Sivu 1
										KUORMAT:						

Liite 7. Tarkasteltavan mastoseinän kestävyys

1(6)

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:	Opinnäytetyö			Sivu 1
					Esimerkkilasku			
				TYÖNUMERO:			V1.0	
Rakennelaskelma	Suunnittelija:	MRI	Tarkastaja:	-	PVM:	18.4.2018		

Betonielementtien vaaka- ja pystyliitosten leikkauskestävyys murtorajatilassa

Tarkistetaan osamastoseinän kestävyys puristukselle sekä mahdolliselle taivutuksen aiheuttamalle vetojännitykselle.

Osamasto ajatellaan ulokkeena perustustasosta saumoista välittämättä saumoissa vaikuttavien voimien laskemiseksi.

Laskelmat SFS-EN 1992 - 1-1 + A1 + AC mukaan.

Tarkasteltava seinä: X3

Seinämaston dimensiot:

Korkeus	H	18,5 m
Pituus	B	3,791 m
Paksuus	d	0,2 m
Betoni:	C	30 /37

Kuormitus

Pystykuorma tarkasteltavassa kohdassa/m :

$N_{ed} = 355 \text{ kN/m}$ $N = \sum F_{xi} \left[\frac{kN}{m} \right]$

Tarkasteltavassa kohdassa leikkausvoima:

$V_{ed} = 231 \text{ kN}$ $V = \sum F_i$

Tarkasteltavan kohdan momentti

$M_{ed} = 2137 \text{ kNm}$ $M = \sum F_i * x_i$

Kuvassa tilanne, jossa lasketaan alimman kerroksen kestävyyttä.

Ulkoiset kuormat F_i aiheuttavat momentin M . Voima F_1 vaikuttaa välipohjatasossa.

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:		Opinnäytetyö				Sivu 2	
						Esimerkkilasku					
				TYÖNUMERO:		0					
Rakennelaskelma		Suunnittelija:		MRI	Tarkastaja:	-		PVM:	18.4.2018		
Pystysauman mitoitus:											
Sauman kohta:				1,8955 m							
Leikkausjännitys T:											
Sn				0,359 m3							
I				0,9081 m4							
T				0,46 MN/m2							
Leikkausvoima saumassa				91 kN/m							
Valmistajien ilmoittamia kestävyksiä:											
semtu		VS-80, VS-100, VS-120 [kN/m]									
		Lenkkijako [mm]									
Betonin lujuus:	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	
C25/30	107,4	92,5	81,3	72,7	65,7	60	55,3	81,3	47,8	44,9	
C30/37	116	99,9	87,9	78,5	71	64,8	59,7	55,4	51,7	48,5	
C35/45	131,5	113,3	99,6	89	80,5	73,5	67,7	62,8	58,6	54,9	
		VS-140									
C25/30	-	166,8	149,9	133,7	120,7	110,1	101,3	93,8	87,4	-	
C30/37	-	180,1	161,9	144,4	130,4	118,9	109,4	101,3	94,4	-	
C35/45	-	204,3	183,6	163,7	147,9	134,9	124	114,9	107	-	
Peikko:		PVL 60, PVL80, PVL100, PVL120 [kN/m]									
		Lenkkijako [mm]									
Betonin lujuus	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	
C25/30	132,0	116,0	105,0	96,0	89,0	78,0	74,0	74,0	70,0	67,0	
C30/37	134,0	119,0	107,0	99,0	91,0	81,0	77,0	77,0	73,0	70,0	
C35/45	137,0	122,0	110,0	101,0	94,0	83,0	79,0	79,0	76,0	73,0	
C40/50	141,0	126,0	114,0	105,0	98,0	88,0	83,0	83,0	80,0	77,0	
C45/55	144,0	128,0	117,0	108,0	101,0	90,0	86,0	86,0	83,0	80,0	
C50/60	146,0	131,0	120,0	111,0	104,0	93,0	89,0	89,0	85,0	82,0	
Valitaan:		VS-80, VS-100 k350									

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:		Opinnäytetyö		Sivu 3	
						Esimerkkilasku			
				TYÖNUMERO:					
Rakennelaskelma	Suunnittelija:			MRI	Tarkastaja:	-	PVM:	18.4.2018	
Betonipoikkileikkauksen mitoitus:									
$W = \frac{b \times h^2}{6}$		W		0,4791 m3					
Jännitykset:									
Momentista aiheutuva puristus/vetojännitys:				$\sigma_1 = \frac{M}{W} = +/-$		4,461 N/mm2			
Normaalivoimasta aiheutuva puristusjännitys				$\sigma_2 = \frac{N}{A}$		-1,775 N/mm2			
Reunajännitykset betoniseinän poikkileikkauksessa:									
				$\delta_{maks,pur} =$		-6,24 N/mm2			
				$\delta_{min/VETO} =$		2,69 N/mm^2			
HUOM! SEINÄSSÄ VETOA,RAUDOITETTAVA									
<div><div>SEINÄN JÄNNITYSKUVAAJA - YHDISTETTY</div><div></div></div>									
+				vetoa					
-				puristusta					

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:	Opinnäytetyö			Sivu 4	
				Esimerkkilasku					
				TYÖNUMERO:	0			V1.0	
Rakennelaskelma	Suunnittelija:	MRI	Tarkastaja:		PVM:	18.4.2018			
Puristus:									
Betonin puristuslujuus raudoittamattomalle poikkileikkaukselle:									
	γ_c	1,5	$\gamma_c = \text{Betonin osavarmuusluku}$						
	γ_s	1,15	$\gamma_s = \text{Teräksen osavarmuusluku}$						
	$\alpha_{cc} =$	0,85	$\alpha_{cc,pl} =$ raudoittamattomalta betonirakenteelta						
	$\alpha_{cc,pl} =$	0,68	puuttuu raudoitettulla rakenteella oleva sitkeys						
			joten materiaaliosavarmuuskerroin on pienempi						
			$\alpha_{cc,pl} = \alpha_{cc} * 0,8$						
	$f_{cd,pl}$	13,6 N/mm ²							
Mitoitusehto ja käyttöaste:									
	$\frac{\delta_{maks,pur}}{f_{cd,pl}} \geq 1$								
	$\frac{\delta_{maks,pur}}{f_{cd,pl}} =$		46 %	OK					

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:	Opinnäytetyö				Sivu 5
					Esimerkkilasku				
				TYÖNUMERO:				V1.0	
Rakennelaskelma	Suunnittelija:		MRI	Tarkastaja:			PVM:	18.4.2018	
Elementtien vaakasauma									
Sauman leikkausvoima:				61 kN/m					
Normaalivoiman aiheuttama									
puristusjännitys saumassa:				1,78 N/mm ²					
Sidontapistetapit:									
Teräs:									
		fy	500 N/mm ²						
		fsd	435 N/mm ²						
halkaisija		d	16 mm		säde	8 mm			
S-pistetappeja saumassa		4 kpl							
Tappien kulma		α	90 astetta		1,5708 rad				
k-jako		s	947,75 mm						
Liittymäpinnan tiedot:									
Pinta	Hyvin sileä		Sileä	Karhea	Vaarnattu				
c	0,025		0,2	0,4	0,5				
μ	0,5		0,6	0,7	0,9				
c	0,2								
μ	0,5								
δn	1,78 N/mm ²		Rajapintaan kohdistuva min. normaali jännitys + puristus, -veto						
b	200 mm		Seinän leveys millimetreinä						
f _{ctk0,05}	2 N/mm ²								
f _{ctd}	1,3 N/mm ²								
f _{ck}	30 N/mm ²		$f_{ctd} = \alpha_{ct} * f_{ctk,0,05} / \gamma_c$						
f _{cd}	17 N/mm ²		$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$						
As	804 mm ²								
Ai	758200 mm ²		Ai=sauman poikkileikkauksen pinta-ala						
Rajapinnan leikkauskestävyyden mitoitusarvo:									
$V_{Rdi} = c * f_{ctd} + \mu * \sigma_n + \rho * f_{sd} * (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) < 0,5 * v * f_{cd}, v=0,6 * [1-f_{ck}/250]$									
ρ=As/Ai									
$V_{rdi,max} = 0,5 * 0,6 * [1-f_{ck}/250] * f_{cd}$									
V _{Rdi} =	1,38	N/mm ²	Maksimissaan:	V _{rdi,max}	4,488	N/mm ²			
V _{Rdi} =	1,38	N/mm ²	->	Vastaa	277	kN/m		Käyttöaste	22 %

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy				KOHDE:	Opinnäytetyö				Sivu 6
					Esimerkkilasku				
				TYÖNUMERO:	V1.0				
Rakennelaskelma	Suunnittelija:	MRI	Tarkastaja:		PVM:	18.4.2018			
Elementin ankkurointi vedolle									
Ankkuroitava vetovoima:				T					
F _{ank} =		307 kN							
Nollakohta poikkileikkauksessa:									
0-kohta		1141 mm							
Veto- ja leikkausrasitetun ankkurointipultin kestävyys:									
Peikko HPM-ankkurointipultille									
Pultti		HPM39							
Vetokestävyys		383 kN							
Leikkauskestävyys		125 kN							
Pulttien määrä seinässä:		4 kpl							
Yhdelle pultille tuleva rasitus:				N _{ed,pultti} =					
N _{ed,pultti}		153 kN		Ankkuroitava vetovoima/(Pulttien lkm/2)					
V _{ed,pultti}		28,875 kN		V _{ed,pultti} = V _{ed} /(S – pistetapit + Pultit)					
Käyttöaste:									
Mitoitusehdot: Peikko HPM-ankkurointipultit, Tekninen käyttöohje									
$\frac{N_{ed}}{1,4 * N_{Rd}} + \frac{V_{ed}}{V_{Rd}} =$		52 % ok							
$\frac{N_{ed}}{N_{Rd}} =$		40 % ok							
		OK							
Peikko SUMO -seinäkenkä									
Seinäkenkä		SUMO 39H							
Vetokestävyys:		383 kN							
Vetorasitus:		153 kN							
Käyttöaste:		40 %		OK					